المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج



تخصص اتصالات

دوائر كهربائية- 2

(نظري)

116 تصل

طبعة ١٤٢٩ هـ

مقدمة

الحمد لله وحده، والصلاة والسلام على من لا نبي بعده، محمد وعلى آله وصحبه، وبعد:

تسعى المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدربة القادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوفرة في سوق العمل، ويأتي هذا الاهتمام نتيجة للتوجهات السديدة من لدن قادة هذا الوطن التي تصب في مجملها نحو إيجاد وطن متكامل يعتمد ذاتياً على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والإيمان من أجل الاستمرار قدماً في دفع عجلة التقدم التنموي: لتصل بعون الله تعالى لمصاف الدول المتقدمة صناعياً.

وقد خطت الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج خطوة إيجابية تتفق مع التجارب الدولية المتقدمة في بناء البرامج التدريبية، وفق أساليب علمية حديثة تحاكي متطلبات سوق العمل بكافة تخصصاته لتلبي متطلباته ، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع إعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل والمؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " **دوائر كهربائية 2** " لمتدربي تخصص "**اتصالات**" في الكليات التقنية موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا التخصص.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من الله عز وجل أن تسهم بشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، وبالاستعانة بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

والله نسأل أن يوفق القائمين على إعدادها والمستفيدين منها لما يحبه ويرضاه، إنه سميع مجيب الدعاء.

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

تمهيد

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على نبينا محمد وعلى آله وصحبه وسلم، ... وبعد:

نتيجة للتطور الذي تشهده المملكة العربية السعودية في شتى مجالات التقنية المختلفة، كان لزاماً تخريج كوادر وطنية قادرة على استيعاب هذه التقنيات بمهارة وإتقان.

وانطلاقاً من حرص ولاة الأمر في هذا البلد وقناعتهم بالاستفادة من هذه التقنيات والأخذ بأسباب التقدم بما يتوافق مع شريعتنا الغراء، فقد عهدت الدولة إلى المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني مهمة إعداد كوادر فنية مدربة قادرة على استيعاب وسائل التقنية الحديثة. وانطلاقاً من هذا الهدف النبيل قامت المؤسسة بجهد مشكور في هذا الميدان، حيث قامت بعمل ورش مختلفة وذلك بغرض تحديد المواصفات المهنية لكل تخصص فني، ومن ثم عهدت المؤسسة بتكليف بعض الأقسام في الكليات التقنية المختلفة بتأليف وإعداد مناهج نظرية وعملية متوافقة مع مواصفات التخصصات الفنية المختلفة. ومن هنا كان مقرر الدوائر الكهربائية من ثمار هذا الجهد الرائع الذي قامت به الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج بالمؤسسة.

وإننا إذ نقدم هذه الحقيبة التدريبية للكليات التقنية، فإنه سيتم عرضها بما يتوافق مع احتياجات المتدرب ومستواه التدريبي، وبأسلوب مبسط خالٍ من التعقيد، دون الإخلال بالمحتوى العلمي.

وختاماً، نسأل المولى عز وجل أن يوفق القائمين على هذا المشروع بكل خير، كما نسأله تعالى أن يوفق أبناءنا المتدربين لفهم هذا المقرر عملياً وأن يجعل أعمالنا خالصة لوجهه الكريم، وآخر دعوانا أن الحمد لله رب العالمين.

وصلى الله على سيدنا محمد وعلى آله وصحبه وسلم، ......

المؤلفون

دوائر كهربائية- 2

مقدمة للتيار المتردد

الوحدة الأولى

مقدمة للتيار المتردد

الموضوع الأول: الموجة الجيبية

الجدارة: القدرة على التعرف على دوائر التيار المتردد. والموجة الجيبية وخصائصها.

الأهداف: عندما تكتمل هذه الوحدة تكون لدى المدرب القدرة على أن :

- يتعرف على الموجة الجيبية
- يتعرف على قيم التيار و الجهد للموجات الجيبية
- يتعرف على القياسات الزاوية للموجة الجيبية
- يتعرف على قانون أوم و قوانين كيرشوف في دوائر التيار المتردد
- الموجات الغير جيبية

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل المتدرب إلى إتقان الجدارة بنسبة 90٪

الوقت المتوقع للتدرب على الجدارة: 9 ساعات

الوسائل المساعدة :

- سبورة.
- جهاز عرض بروجكتور باستخدام الحاسب.

متطلبات الجدارة : أن يكون المتدرب قادرا على التعرف وتمييز ما درس سابقا بالإضافة إلى أساسيات الرياضيات في الدوال الهندسية والمتجهات وما ورد في قوانين كيرشوف.

الموضوع الأول: الموجة الجيبية

1-1 مقدمة Introduction:

لقد قمنا بتعريف التيار سابقا على أنه حركة الإلكترونات من القطب السالب إلى القطب الموجب للبطارية، أي إن هذه الإلكترونات لها اتجاه واحد وهذا التيار أسميناه التيار المستمر (DC). وهناك نوع آخر من التيار يعرف بالتيار المتردد Alternating Current (AC)، حيث إن الإلكترونات في هذا النوع تغير اتجاهها بين الفينة والأخرى لأن قطبية المصدر تتغير أيضا بصفة دورية. وللمعلومية فإن معظم محطات الكهرباء تولد تيارا كهربائيا مترددا ويكون تغير هذاالتيار مع الزمن جيبيا (Sinusoidal) أي وفق دالة جيبية أو موجة جيبية Sine wave.

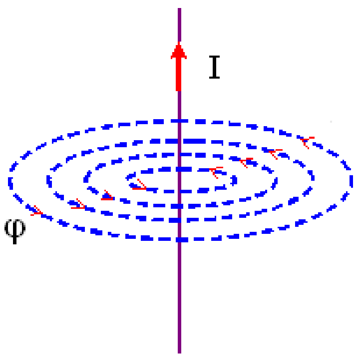
وسوف نتعرض في هذه الوحدة إلى دراسة مبادئ وأسس توليد التيار المتردد الذي على شكل الموجة الجيبية وخواص الموجة الجيبية وكيفية تحليلها رياضياً وتمثيلها بالرسم عن طريق المتجهات.

ولدراسة كيفية توليد التيار المتردد لابد في البداية من التعرض لدراسة سريعة للتأثيرات المغناطيسية المصاحبة للتيار الكهربائي والتي هي في نفس الوقت السبب الرئيس لتوليد التيار المتردد، وهو ما سنحاول سرده سريعاً دون تعمق.

1- 2 التأثير المغناطيسي للتيار الكهربائي Magnetic Effects of Electrical Current

1- 2- 1 توليد وتركيز المجال المغناطيسي Generation & Concentration of Magnetic Field

من المعروف أنه إذا مر تيار كهربائي في موصل ما، فإن مرور هذا التيار الكهربائي يسبب نشوء ما يسمى بالمجال المغناطيسي (Magnetic Field) وحول هذا الموصل على هيئة دوائر (تسمى خطوط القوى المغناطيسية (أو الفيض المغناطيسي)، ويرمز له بالرمز φ)، ويكون الموصل في مركز هذه الدوائر كما هو مبين بشكل (1- 1).

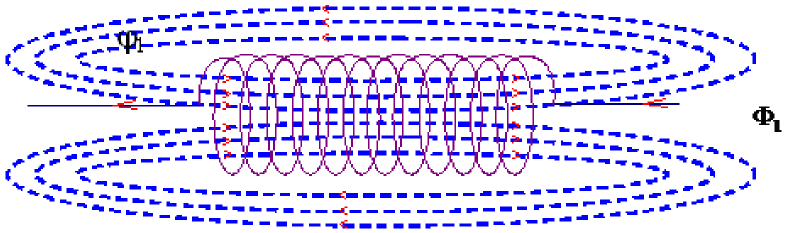


شكل (1- 1) دوائر المجال المغناطيسي

وخطوط القوى المغناطيسية هذه يكون لها اتجاه يرتبط باتجاه سريان التيار الكهربائي، وتربطهما قاعدة تسمى قاعدة البريمة لليد اليمنى: حيث يتم فتح اليد اليمنى بحيث يكون اتجاه إصبع الإبهام عمودياً على اتجاه باقي الأصابع.

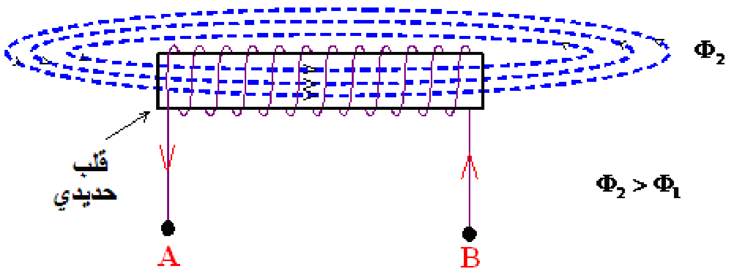
ملحوظات:

1. يلاحظ أن خطوط القوى المغناطيسية خارج الملف تكون متواصلة كما ه مبين بشكل (1- 2).



شكل (1- 2) تركيز المجال المغناطيسي في قلب الملف

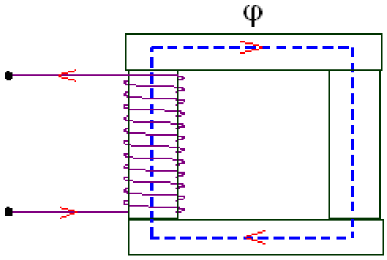
2. لأن خطوط القوى المغناطيسية (Φ_1) تكون على هيئة مسارات مغلقة، فإن هذه الخطوط أو هذه المسارات تسير في وسط ما، وفي الحالة التي أمامنا فإن خطوط القوى المغناطيسية تسير في الهواء، وإذا تخيلنا الآن أن هذا الملف ملفوف حول قطعة من الحديد (قلب حديدي)، فإن خطوط القوى المغناطيسية ستأخذ مساراً لها في داخل قطعة الحديد وتكمل بعد ذلك مسارها في الهواء خارج الحديد.



شكل (1- 3) تأثير القلب الحديدي على زيادة المجال المغناطيسي

ولأن المواد الحديدية لها خاصية مغناطيسية، فإن مقاومتها لمرور خطوط القوى المغناطيسية تلاقي في مسارها في هذه الحالة مقاومة كلية أقل من الحالة الأولى حيث إن المسار (في الحالة الأولى) يكون كله في الهواء ذي المقاومة المرتفعة نسبياً لمرور المجال المغناطيسي، بينما في الحالة الثانية تحتل مقاومة الحديد جزءاً من المسار الذي كان يشغله الهواء في الحالة السابقة. وبالتالي نتوقع أن قيمة المجال المغناطيسي في الحالة الثانية (Φ_2) أكبر من قيمته في الحالة الأولى (Φ_1) بالرغم من عدم تغير قيمة التيار الكهربائي كما هو مبين بشكل (1- 3).

وللاستفادة من هذه الخاصية الهامة في الحديد، يمكن أيضاً زيادة حجم الحديد في مسار خطوط القوى المغناطيسية حتى يمكن أن يكتمل المسار كله كما في الشكل (1- 4).



شكل (1- 4) ملف ملفوف على قلب حديدي مغلق

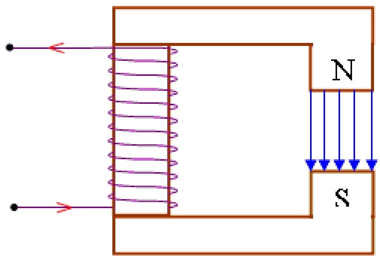
ولذلك فإن:

$$\varphi_1<\varphi_2<\varphi_3 \quad (1-1)$$

وبهذا المبدأ يمكن تركيز المجال المغناطيسي داخل القلب الحديدي، وهذه هي بداية الطريق لشرح نظرية عمل المولد الكهربائي لشرح كيفية توليد التيار المتردد.

1- 3 نظرية عمل المولد الكهربائي Basic Concepts of Electrical Generator

بالعودة إلى شكل (1- 4)، يمكن التخيل الآن أن القلب الحديدي غير مغلق تماماً وأنه توجد ثغرة هوائية في مسار خطوط القوى المغناطيسية، لذلك فإن خطوط القوى المغناطيسية تمر الآن في القلب الحديدي وتكمل مسارها في الهواء ويكون المجال المغناطيسي مركزاً في هذه الثغرة الهوائية وهو ما يعرف بالمغناطيس، حيث له قطب شمالي خارجة منه الخطوط المغناطيسية وقطب جنوبي داخلة إليه الخطوط، كما هو مبين بالشكل (1- 5).

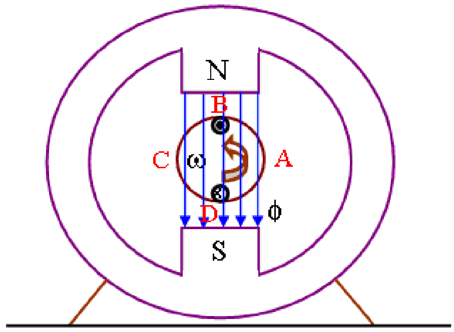


شكل (1- 5) تركيز المجال المغناطيسي في الثغرة الهوائية

في هذه الثغرة يمكن استغلال هذا المجال المغناطيسي بطريقة أخرى كالآتي: إذا تحرك أي موصل في هذه الثغرة الهوائية قاطعاً خطوط القوى المغناطيسية، تتولد بين أطرافه قوة دافعة كهربائية.

1- 3- 1 توليد الموجة الجيبية Generation of Sine Wave

لو تخيلنا الآن أن الموصل يتحرك حركة دوارة في المجال المغناطيسي أي إنه يتبادل موقعه ما بين القطبين الشمالي والجنوبي باستمرار، كما هو مبين بالشكل (1- 6)، حيث نجد أن القوة الدافعة الكهربائية وكذلك التيار بهذا التبادل الحركي للموصل تحت الأقطاب المختلفة تتغير أيضاً اتجاهاتها (إشارتها) وهذا هو ما يسمى بالتيار المتردد.



شكل (1- 6) توليد الموجة الجيبية

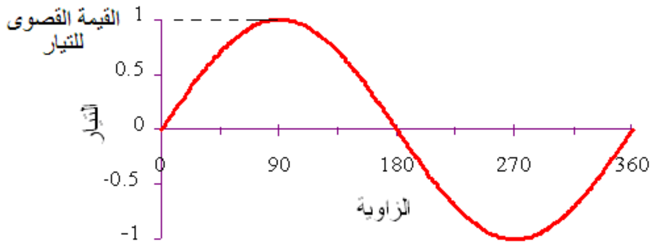
فإذا تخيلنا الموصل الموضح في شكل (1- 6)، وأنه بدأ يتحرك حركة دوارة ليأخذ الأوضاع A ثم B ثم C ثم D ثم A، سوف نلاحظ الآتي:

(1) عند النقطة A يتحرك الموصل حركة موازية للمجال المغناطيسي فلا يقطعه ولا ينتج عن ذلك توليد أي قوة دافعة كهربائية.

(2) عند النقطة B يتحرك الموصل حركة عمودية تماماً على المجال المغناطيسي فيتولد بين أطرافه قوة دافعة كهربائية بقيمة عظمى ويكون اتجاهها (وبالتالي التيار الكهربائي) في الاتجاه الخارج من الموصل كما هو مبين بالشكل (1- 6)، وذلك حسب قاعدة اليد اليمنى حيث يشير الإبهام إلى اتجاه حركة السلك والسبابة إلى اتجاه المجال والوسطى إلى اتجاه التيار .

(3) عند النقطة C يتحرك الموصل ثانية موازياً للمجال المغناطيسي فلا تتولد أية قوة دافعة كهربائية.

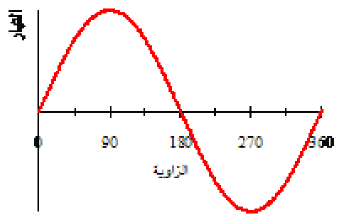
(4) عند النقطة D يتحرك الموصل حركة عمودية تماماً على المجال المغناطيسي فتتولد بين أطرافه قوة دافعة كهربائية بقيمة عظمى ويكون اتجاهها (وبالتالي التيار الكهربائي) في الاتجاه الداخل إلى الموصل. وإذا رسمنا العلاقة بين الزاوية التي قطعها الموصل من الوضع الابتدائي حتى أكمل دورته الكاملة وبين قيمة التيار المتولد فيه، لوجدنا هذه العلاقة على شكل منحنى الموجة الجيبية كما في شكل (1- 7).



شكل (1- 7) شكل الموجة الجيبية

1- 3- 2 القيمة الحسابية للموجة الجيبية Evaluation of Sine Wave

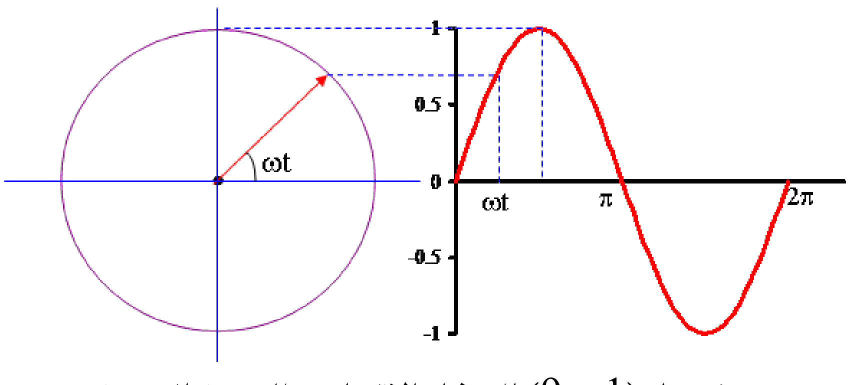
إن التيار في الموجة الجيبية ليست له قيمة ثابتة مع الزمن كما هو مبين بشكل (1- 8)، بل إنه يتغير باستمرار بصفة دورية.



شكل (1- 8) التيار المتردد على هيئة موجة جيبية

1- 3- 3 التمثيل الاتجاهي للموجة الجيبية Representation of Sine Wave

يمكن تمثيل الجهد المتغير الذي تمثله الموجة الجيبية بتمثيل آخر مكافئ وهو عبارة عن متجه ثابت القيمة قيمته E_m ويدور بسرعة زاوية ثابتة ω والزاوية المحصورة بين المحور السيني، وهذا المتجه هي الزاوية ωt وكذلك إسقاط هذا المتجه على المحور الصادي يمثل القيمة اللحظية للجهد المتغير كما هو مبين بشكل (1- 9).



شكل (1- 9) التمثيل الاتجاهي للموجة الجيبية

1- 3- 4 التمثيل الرياضي للمتجهات Mathematical Representation of Vectors

يمكن تمثيل المتجهات بالطرق الآتية:

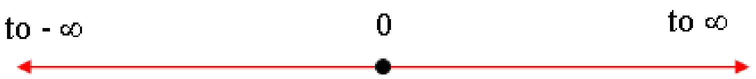
1. صيغة الإحداثيات المتعامدة.
2. الصيغة المثلثية.

وفيما يلي سوف نتحدث باختصار عن صيغة الإحداثيات المتعامدة، حيث يمكن تمثيل أية كمية مركبة A على هيئة كمية حقيقية مضافة إلى كمية تخيلية كما يلي:

$$A = a_1 + ja_2 \qquad (2 \quad -1)$$

حيث j: هو متجه مقداره الوحدة وهو ينطبق على المحور الصادي وقيمته = $\sqrt{-1}$.

وينبغي الإشارة هنا إلى أنه يمكن تمثيل الأعداد الحقيقية كنقط تقع على خط مستقيم يمتد من سالب ما لانهاية إلى ما لانهاية ماراً بالصفر كما هو مبين بشكل (1- 10).



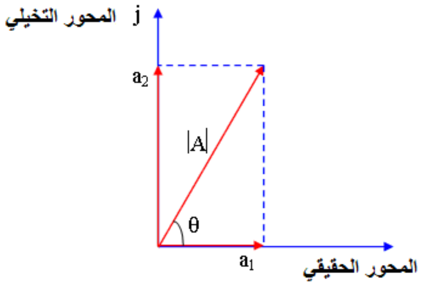
شكل (1- 10) تمثيل الاعداد الحقيقية

فإذا فرضنا أن من صفر إلى ما لانهاية عبارة عن متجه وليكن X، فبضرب هذا المتجه في j مرتين نحصل على ما يلي:

$$X \cdot j \cdot j = -X$$

وهو المتجه العكسي للمتجه الأول (صفر إلى (− ما لانهاية)).

إذن بضرب العدد الصحيح في j مرتين، فإن العدد الصحيح يدور مرتين كل مرة بزاوية مقدارها 90 درجة، وإذا ضرب في j مرة واحدة فإنه يدور مرة واحدة بزاوية مقدارها 90 درجة. لهذا تمثل الكميات الحقيقية على المحور السيني وتمثل الكميات التخيلية على المحور الصادي وتمثل الكميات المركبة على المحورين السيني والصادي كما هو مبين بشكل (1- 11).



شكل (1- 11) المحور الحقيقي والمحور التخيلي

$$|A| = \sqrt{(a_1^2 + a_2^2)} \tag{3 -1}$$

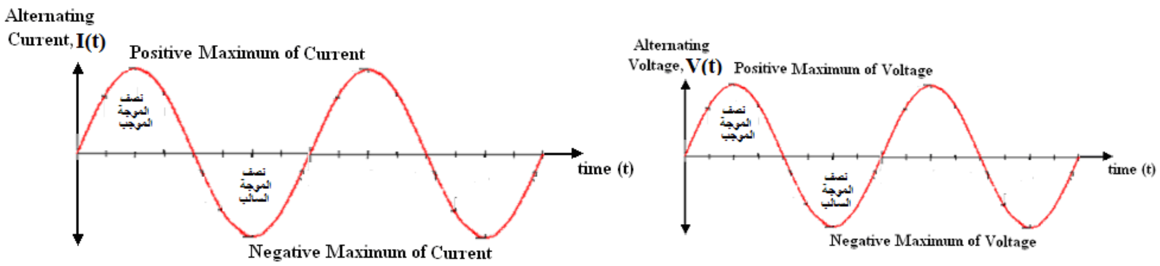
$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{a_2}{a_1}\right) \tag{4 -1}$$

1- 4 التيار المتردد (AC) والجهد المتردد يتغيران مع الزمن وفق دالة جيبية

Alternating Current and Voltage as a Sine Wave

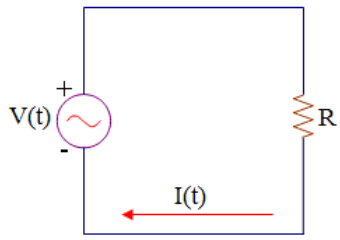
1- 4- 1 الموجة الجيبية للجهد والتيار

يمكن تمثيل الموجة الجيبية لكل من الجهد والتيار المتردد ، كما بالشكل التالي:



شكل (1- 12) منحنى الجهد والتيار كموجة جيبية

ونظراً لتغير الجهد والتيار جيبياً ،فإنه سيكون لهما قيمتان موجبة وسالبة بالتناوب، حيث يمكن الافتراض أن التيار الموجب كما هو موضح في الشكل التالي:

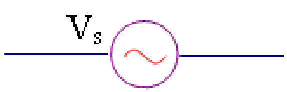


شكل (1- 13) افتراض الاتجاه الموجب للتيار

حيث يمكن القول أنه إذا كان التيار له نفس اتجاه السهم فهو موجب وإلا فهو سالب.

ملاحظات:

1. التيار يسحب من القطب الموجب لمصدر الجهد.
2. الرمز البياني لمصدر الجهد المتردد ، كما يلي:

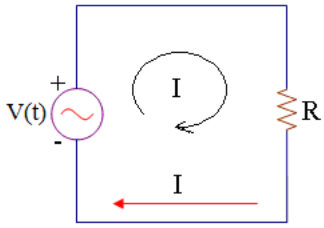


شكل (1- 14) الرمز البياني لمصدر الجهد المتردد

1- 4- 2 سلوك الجهد المتردد والتيار المتردد خلال دورة كاملة:

أولا: التغير الموجب:

انظرشكل (1- 12) لمنحنى الجهد والتيار المتردد ومن شكل (1- 15) نجد أن:

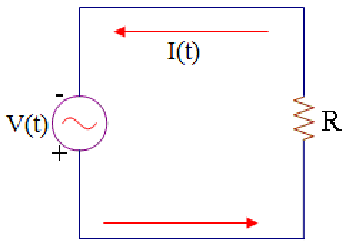


شكل (1- 15) الجهد الموجب بناءا على فرضية اتجاه التيار

الجهد موجب وفقا للاتجاه الموجب المبين أعلاه، حيث يزداد الجهد حتى يبلغ أقصى قيمة له ويزداد التيار أيضا في الاتجاه الموجب (دائما من الموجب (+)إلى القطب السالب (-)) إلى أن يصل إلى أقصى قيمة له. وبعد ذلك يبدأ الجهد بالتناقص والتيار كذلك تبعا للجهد حتى تصبح قيمتهما صفرا.

ثانيا: التغير السالب:

من شكل (1- 16) نجد أن:



شكل (1- 16) الجهد السالب بناء على فرضية اتجاه التيار

الجهد يصبح سالبا، أي إن القطبيات تنعكس كما يلي: القطب الموجب يصبح سالبا والقطب السالب يصبح موجبا، مما يؤدي إلى تغير اتجاه التيار (لأن التيار يسحب دائما من القطب الموجب). حيث تزداد قيمة الجهد حتى يصل إلى أقصى قيمة له بالنسبة لهذه القطبية وتبعا لذلك يتزايد التيار حتى يصل إلى أقصى قيمة له في هذا الاتجاه ثم يتناقص الجهد والتيار حتى يتلاشيان. ومن ثم تنعكس قطبية المصدر ويتغير اتجاه التيار فتتزايد القيمتان وهكذا تتكرر العملية. مما يعني أنه بالنسبة لمصدر الجهد المتردد تنعكس قطبيته بصفة دورية. أما بالنسبه للتيار المتردد فإن اتجاهه يتغير بصفه دورية.

1- 4- 3 مصادر الجهد المتردد (الجيبي) Sine wave Voltage Sources

يمكن الحصول على الجهد المتردد مما يلي:

1. الآلات الكهربائية المتحركة Rotating Electrical machines

   مثل مولد التيار المتردد AC Generator

2. دوائر المذبذبات الإلكترونية Electronic Oscillator Circuits

   مثل مولدات الموجات الإلكترونية Signal Generators

الموضوع الثاني: قيم التيار و الجهد للموجات الجيبية

1- 5 قيم الجهد والتيار المتردد (AC) الجيبية:

Alternating Current & Voltage Values of a Sine Wave

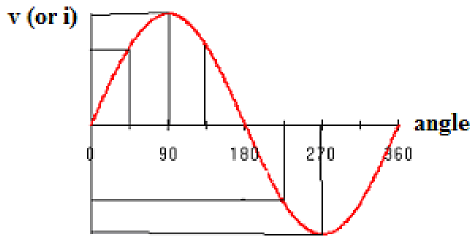
1- 5- 1 قياس قيمة الجهد والتيار المتردد:

يمكن قياس قيم كل من الجهد والتيار المتردد، حيث توجد عدة طرق لقياس مقدارهما كما يلي:

1. القيمة اللحظية Instantaneous Value
2. أقصى قيمة (القيمة القصوى) Peak Value
3. جذر متوسط مربع التيار والجهد Root Mean Square (RMS Value)
4. القيمة المتوسطة Average Value

1- 5- 2 القيمة اللحظية Instantaneous Value

القيمة اللحظية للجهد (أو التيار) هي قيمة الجهد (أو التيار) عند لحظة معينة من الزمن، كما في الشكل (1- 17).



شكل (1- 17) قيم الجهد والتيار المتردد

1- 5- 3 أقصى قيمة (القيمة القصوى) Peak Value

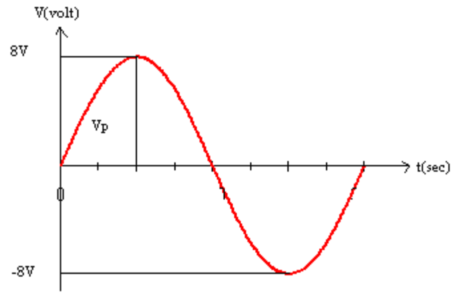
قيمة الجهد القصوى هي أكبر قيمة من القيم اللحظية الموجبة أو السالبة للجهد المتردد خلال فترة محددة وكذلك القيمة القصوى بالنسبة للتيار هي أكبر قيمة من القيم اللحظية الموجبة أو السالبة للتيار المتردد. أي إن أقصى قيمة أو القيمة القصوى للموجة الجيبية تقاس من الصفر إلى أعلى قمة أو قاع.

ملحوظة:

Peak Value = Amplitude =Magnitude

مثال (1- 1)

أوجد القيمة القصوى للموجة الجيبية التالية:



شكل (1- 18) الموجة الجيبية لمثال (1- 1)

الحل:

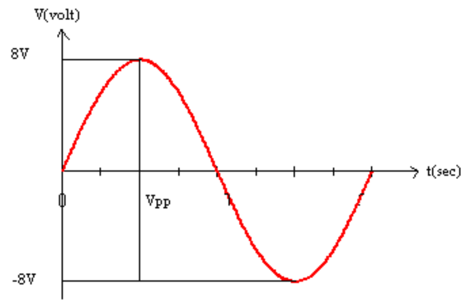
$$V_P = 8V$$

1- 5- 4 القيمة من القمة إلى القمة Peak to Peak Value

القيمة من القمة إلى القمة هي الفرق بين قيمة القمة الموجبة وقيمة القاع السالب للجهد أو التيار المتردد أي إن :

$$V_{PP} = 2V_P \quad I_{PP} = 2I_P \qquad (1- 5)$$

كما في الرسم التالي:



شكل (1- 19) القيمة من القمة للقاع للموجة الجيبية

1- 5- 5 القيمة الفعالة للموجة الجيبية Effective value of sine wave

أو قيمة جذر متوسط مربع التيار أوالجهد Root Mean Square (RMS Value)

عندما ندرس التأثير الحراري للتيار الكهربائي، فلو تخيلنا مثلاً أن التيار يضيء مصباحاً كهربائياً، فإن هذا المصباح يشع حرارة ويضيء في نفس الوقت، هذا بالطبع دون تفرقة ما إذا كانت القطبية سالبة أو موجبة ولهذا تعرف القيمة الفعالة للتيار المتردد بأنها قيمة التيار المستمر

التي إذا مرت في دائرة ما لفترة زمنية ما فإنها تعطي نفس التأثير الحراري للتيار المتردد إذا مر في نفس الدائرة لنفس الزمن. هذه القيمة لا تفرق بين تيار سالب وتيار موجب وتسمى R.M.S وهي اختصار للكلمات Root Mean Square وهذه الكلمات تصف تماماً الخطوات المتبعة لحساب القيمة الفعالة للتيار المتردد ذي الموجة الجيبية. والمعادلات التالية، تمثل العلاقة بين قيمة جذر متوسط مربع التيار والجهد وكل من القيمة القصوى للجهد والتيار (V_P, I_P) وأيضا القيمة من القمة إلى القاع (V_{PP}, I_{PP}) كما يلي:

$$V_{rms} = 0.707V_P \text{ or } I_{rms} = 0.707I_P \quad (6\ \ -1)$$

$$V_P = 1.414V_{rms} \text{ or } I_P = 1.414I_{rms} \quad (7\ \ -1)$$

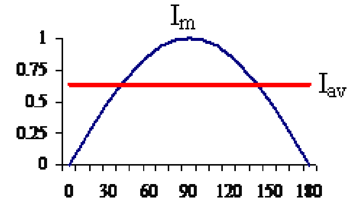
$$V_{PP} = 2.828V_{rms} \text{ or } I_{PP} = 2.828I_{rms} \quad (8\ \ -1)$$

ملاحظات:

1. جهد مستمر قيمته تساوي القيمة الفعالة لجهد متردد معين، عبر المقاومة ينتج نفس المقدار من الحرارة الذي ينتجه هذا الجهد المتردد عبر المقاومة.
2. يسمى جذر مربع متوسط التيار أو الجهد بالقيمة الفعالة Effective value للتيار أو الجهد.وتدرج أجهزة القياس الكهربائية لقياس هذه القيم.

1- 5- 6 القيمة المتوسطة للموجة الجيبية Average value of sine wave

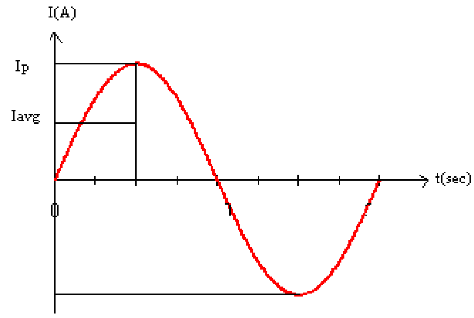
عند حساب الشحنة الكهربائية المارة في مقطع سلك ما يحمل تيارا جيبيا وذلك في زمن الدورة الواحدة (T)، نجد أن محصلة الشحنة الكهربائية = صفر. حيث إن الشحنة الموجبة المارة في زمن T/2 تساوي الشحنة السالبة المارة في النصف الآخر من الدورة، ويمكن حساب كل من الشحنة الموجبة والشحنة السالبة على حدة باعتبار الزمن T/2 فقط وبالتالي يمكن حساب القيمة المتوسطة لنصف الدورة كما هو مبين بشكل (1- 20)، على أنه: التيار المستمر الذي إذا مر في مقاومة ما في زمن T/2 لتسبب في مرور نفس الشحنة التي يسببها التيار المتردد في نفس الزمن. وبالطبع فإن التيار المتوسط للدورة كلها يساوي صفراً.



شكل (1- 20) القيمة المتوسطة لنصف الموجة الجيبية

وبالتالي فإن القيمة المتوسطة للجهد أو التيار المتردد هي متوسط قيمة هذا الجهد أو التيار خلال نصف دورة، أي إن:

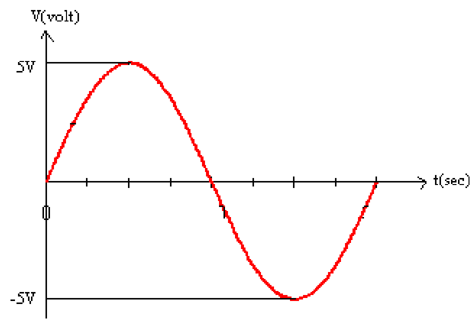
$$V_{avg} = 0.637V_P = 0.9V_{rms} \quad I_{avg} = 0.637I_P = 0.9I_{rms} \qquad (1-9)$$



شكل (1- 21) القيمة العظمى والمتوسطة للموجة الجيبية

مثال (1- 2):

أوجد قيمة كل من $V_P, V_{PP}, V_{rms}, V_{avg}$ وذلك للموجة الجيبية التالية:



شكل (1- 22) الموجة الجيبية لمثال (1- 2)

الحل:

$V_p = 5V$

$V_{PP} = 10V$

$V_{rms} = 0,707 * V_P = 3.535V$

$V_{ovg} = 0,634V_P = 3.535V$

الموضوع الثالث : قانون أوم و قوانين كيرشوف في دوائر التيار المتردد

1- 6 قانون أوم وقوانين كيرشوف في دوائر التيار المتردد:

Ohm's Law and Kirchhoff's Laws in AC Circuits

1- 6- 1 مقدمة:

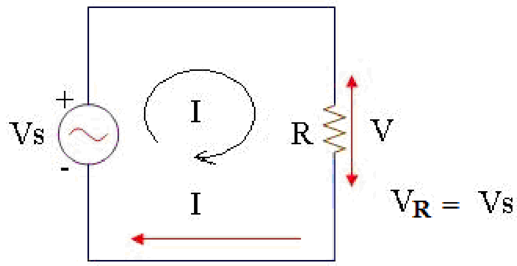
يتم تطبيق قوانين أوم وكيرشوف للجهد والتيار على دوائر التيار المتردد AC بنفس الطريقة التي تم تطبيقها على دوائر التيار المستمر DC ، وذلك لمعرفة الكميات الكهربائية المجهولة في الدوائر الكهربائية المختلفة. مع الأخذ في الاعتبار الفرق في زاوية الطور Phase Angle التي سيتم شرحها بالتفصيل لاحقا.

1- 6- 2 قانون أوم في دوائر التيار المتردد Ohm's Law in AC Circuits

كما ذكرنا سابقا ، فإن قانون أوم ينص على أن التيار Current المار في مقاومة يتناسب مباشرة ، (طرديا)، مع الجهد Voltage المطبق على المقاومة ، ويتناسب عكسيا مع قيمة المقاومة Resistor.

والعلاقات الرياضية التالية توضح لنا ماهية القانون:

$$I = \frac{V}{R} \Rightarrow V = I.R \Rightarrow R = \frac{V}{I} \qquad (1- 10)$$



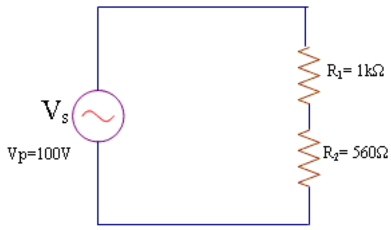
شكل (1- 23) قانون أوم

ملاحظات:

1. مصدر الجهد المتردد يولد تياراً متردداً.
2. الجهد المتردد والتيار عبر مقاومة (متطابقا الطور) Same Phase angle
3. تذكر أنه بالنسبة لدوائر الـ AC وعند تطبيق قانون أوم يجب التعبير عن كل من الجهد والتيار بنفس الطريقة: إما باستعمال القيمة القصوى Peak Value أو Average Value أو RMS Value

مثال (1- 3)

في الدائرة التالية:



شكل (1- 24) الدائرة الكهربائية لمثال (1- 3)

1) أوجد قيمة جذر مربع متوسط الجهد على كل مقاومة .

2) أوجد قيمة جذر مربع متوسط التيار المار في الدئرة .

الحل:

المقاومة الإجمالية للدائرة: $R_T = R_1 + R_2 = 1.56k\Omega$

استخدام قانون أوم لإيجاد جذر مربع متوسط التيار $I_{rms} = \dfrac{V_{s(rms)}}{R_T}$

تحويل مصدر الجهد من القيمة القصوى إلى القيمة الفعالة، كما يلي:

$$V_{S(rms)} = 0.707V_P = 70.7V$$

وبالتالي:

$$\Rightarrow I_{rms} = 45.3mA$$

يتم إيجاد جذر مربع متوسط الجهد عبر R_2, R_1 كما يلي:

$$V_{1(rms)} = I_{rms}R_1 = 45.32V$$

$$V_{2(rms)} = I_{rms}R_2 = 25.38V$$

1- 6- 3 قانون كيرشوف للجهد والتيار في دوائر التيار المتردد

Kirchhoff's Voltage & Current Laws in AC Circuits

كما ذكرنا سابقا، فإن قانوني كيرشوف للجهد والتيار يعتبران من القوانين الرئيسة للدوائر الكهربائية مثل قانون أوم. وينص قانون كيرشوف للجهد على أن "المجموع الجبري للجهود في أية دائرة (أو مسار مغلق) يساوي صفراً. أما قانون كيرشوف للتيار فينص على أن "مجموع التيارات الداخلة لنقطة

التفرع في دائرة ما ، يساوي مجموع التيارات الخارجة منها".والعلاقات الرياضية التالية توضح لنا ماهية هذه القوانين:

قانون كيرشوف للجهد:

$$v_s = v_1 + v_2 + v_3 + ...\qquad (1-11)$$

قانون كيرشوف للتيار:

$$\sum I_{Entering} = \sum I_{Leaving}\qquad (1-12)$$

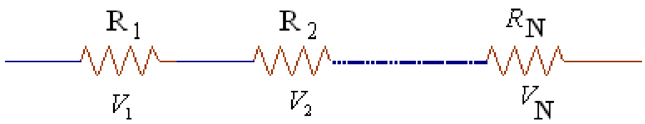
ملحوظة:

يجب التعبير عن الجهد والتيار بنفس الطريقة وذلك عند تطبيق قانوني كيرشوف للتيار والجهد.

أولا: قانون كيرشوف للجهد في دوائر التيار المتردد:

Kirchhoff's Voltage Law in AC Circuits

بالنسبة لمقاومات موصلة على التوالي، كما في الشكل التالي:



شكل (1- 25) قانون كيرشوف للجهد المتردد لمقاومات موصلة على التوالي

فإن قانون كيرشوف للجهد في دوائر التيار المتردد يكون كما يلي:

$$V_{s(rms)} = V_{1(rms)} + V_{2(rms)} + ... + V_{N(rms)}\qquad (1-13)$$

أو

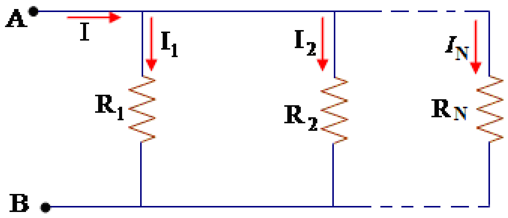
$$V_{s(P)} = V_{1(P)} + V_{2(P)} + ... + V_{N(P)}\qquad (1-14)$$

إلى غير ذلك من العلاقات الرياضية التي تمثل القيمة اللحظية والقيمة المتوسطة للجهد.

ثانيا: قانون كيرشوف للتيار في دوائر التيار المتردد:

Kirchhoff's Current Law in AC Circuits

بالنسبة لمقاومات موصلة على التوازي، كما في الشكل التالي:



شكل (1- 26) قانون كيرشوف للتيار المتردد لمقاومات موصلة على التوازي

فإن قانون كيرشوف للتيار في دوائر التيار المتردد يكون كما يلي:

$$I_{(rms)} = I_{1(rms)} + I_{2(rms)} + ... + I_{N(rms)} \quad (1- 15)$$

أو

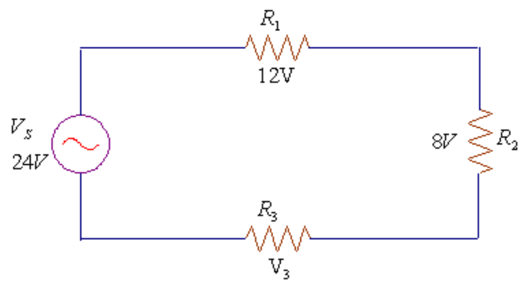
$$I_{(PP)} = I_{1(PP)} + I_{2(PP)} + ... + I_{N(PP)} \quad (1- 16)$$

إلى غير ذلك من العلاقات الرياضية التي تمثل القيمة اللحظية والقيمة المتوسطة للتيار.

مثال (1- 4):

ما القيمة القصوى Peak Value للجهد على المقاومة R_3؟

ملحوظة: كل قيم الجهود في هذه الدائرة تمثل جذراً متوسط المربع للجهد R.M.S Value .



شكل (1- 27) الدائرة الكهربائية لمثال (1- 4)

الحل:

باستخدام قانون كيرشوف للجهد لإيجاد V_3 نجد أن:

$$V_S = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V_{S(rms)} = V_{1(rms)} + V_{2(rms)} + V_{3(rms)}$$

نعوض عن قيم الجهود المعلومة لنحصل على قيمة الجهد V_3

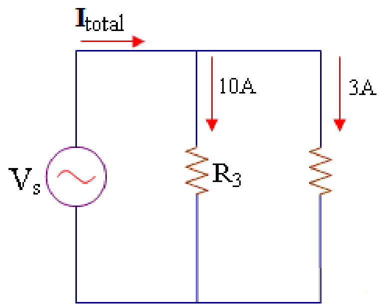
$$\Rightarrow V_{3(rms)} = 4V$$

$\therefore$ القيمة القصوى للجهد V_3 هي:

$$V_{3(P)} = 1.414 V_{3(rms)} = 5.66V$$

مثال (1- 5):

في الدائرة التالية:



شكل (1- 28) الدائرة الكهربائية لمثال (1- 5)

إذا كانت كل القيم معبر عنها بأل RMS، أوجد القيمة المتوسطة للتيار I_{avg}

الحل

باستخدام قانون كيرشوف للتيار لإيجاد $I_{tot(rms)}$ نجد أن:

$$I_{T(rms)} = I_{1(rms)} + I_{2(rms)} = 10 + 3 = 13A$$

∴ القيمة القصوى للتيار الكلي ($I_{T(P)}$) تساوي

$$I_{T(P)} = 1.414 \times I_{t(rms)} = 18.382A$$

القيمة المتوسطة للتيار الكلي (نصف دورة) $I_{t(avg)}$

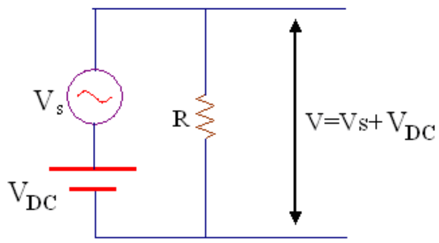
$$I_{T(avg)} = 0.637 * I_{T(P)} = 11.7A$$

1- 7 حاصل جمع (تراكب) مصادر جهد مستمرة ومصادر جهد مترددة:

Superimposed DC and AC voltage

1- 7- 1 مقدمة:

في كثير من التطبيقات، يكون من الضروري إضافة مصدر جهد متردد ومصدر جهد مستمر، وذلك لأداء تطبيق محدد، مثل تحويل مصدر الجهد المتردد إلى مستمر. كما بالشكل التالي:

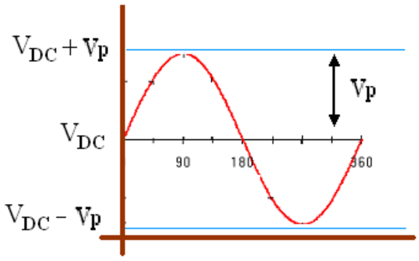


شكل (1- 29) اضافة مصدر جهد مستمر ومتردد

عند وجود مصدرين للجهد أحدهما متردد والآخر مستمر في دائرة من الدوائر الكهربائية وموصلين على التوالي، فإن هذين المصدرين (مصدر الجهد المتردد ومصدر الجهد المستمر) يضاف أحدهما إلى الآخر جبريا ، على حسب الحالتين التاليتين:

1- 7- 2 مصادر الجهد المستمرة أكبر من مصادر الجهد المترددة $V_{DC} > V_P$

في هذه الحالة ، يكون حاصل جمع مصدري الجهد كما بالشكل التالي:



شكل (1- 30) جمع مصدري جهد مستمر ومتردد عندما يكون $V_{DC} > V_P$

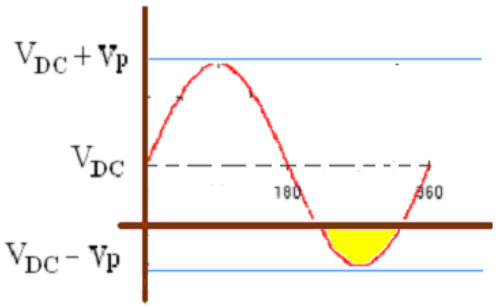
وبالتالي، تكون قيمة الجهد الأقصى مساوية للمقدار: $V_{DC} + V_p$.

وقيمة الجهد الأدنى تساوي: $V_{DC} - V_P$.

كما أنه ينبغي الإشارة إلى أن الجهد في هذه الحالة يكون موجبا دائما أي إنه لاتنعكس قطبية الجهد ، مما يعني أن الجهد غير متردد ولكن يتغير كما في الشكل أعلاه.

1- 7- 3 قيمة مصادر الجهد المستمر أقل من قيمة مصادر الجهد المتردد $V_{DC} < V_P$

في هذه الحالة ، يكون حاصل جمع مصدري الجهد كما بالشكل التالي:



شكل (1- 31) جمع مصدري جهد مستمر ومتردد عندما يكون $V_{DC} < V_P$

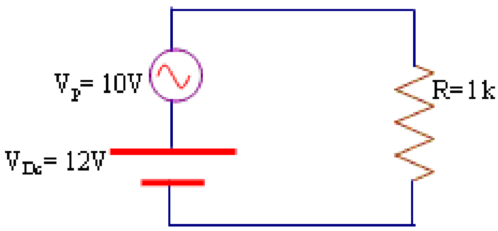
وبالتالي، تكون قيمة الجهد الأقصى مساوية للمقدار: $V_{DC} + V_p$.

وقيمة الجهد الأدنى تساوي: $V_{DC} - V_P$.

كما أنه ينبغي الإشارة إلى أن الجهد في هذه الحالة يكون سالبا طيلة فترة زمنية معينة ، هذه الفترة الزمنية أصغر من مدة نصف دورة الموجة الجيبية مما يعني أن الجهد متردد ويتغير كما في الشكل أعلاه.

مثال (1- 6):

في الدائرة التالية ، أوجد قيمة الجهد الكلي على المقاومة:



شكل (1- 32) الدائرة الكهربائية لمثال (1- 6)

الحل:

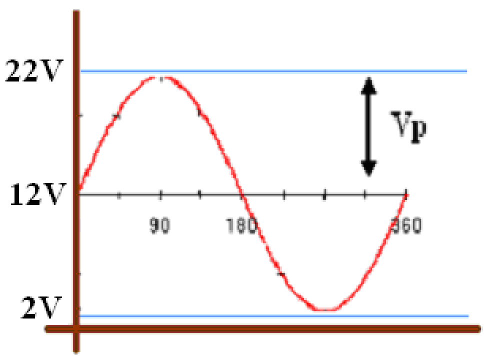
يمكن إيجاد القيمة القصوى للجهد على المقاومة R كما يلي:

$$V_{\max} = V_{DC} + V_P = 12V + 10V = 22V$$

كما يمكن إيجاد قيمة الجهد الأدنى على المقاومة R كما يلي:

$$V_{\min} = V_{DC} - V_p = 12V - 10V = 2V$$

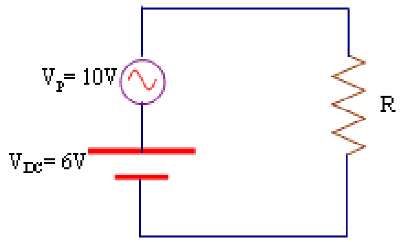
إذن بإضافة مصدر جهد مستمر على التوالي مع مصدر الجهد المتردد ، أمكن الحصول على جهد موجب متغير القيمة.



شكل (1- 33) حاصل جمع مصدري الجهد المستمر والمتردد عندما يكون $V_{DC} > V_P$

مثال (1- 7):

أوجد قيمة الجهد الكلي على المقاومة R



شكل (1- 34) الدائرة الكهربائية لمثال (1- 7)

الحل:

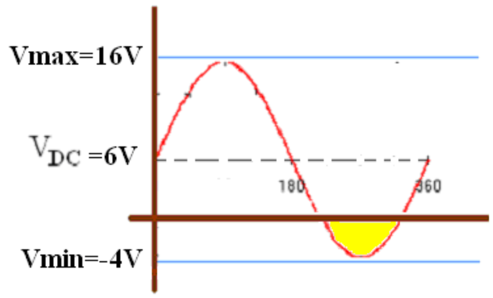
القيمة القصوى للجهد

$$V_{\max} = V_{DC} + V_p = 16v$$

القيمة الدنيا للجهد

$$V_{\min} = V_{DC} - V_P = -4V$$

نلاحظ أن الجهد في هذا المثال متردد ، لأنه يتغير بين الموجب والسالب كما بالشكل التالي:



شكل (1- 35) حاصل جمع مصدري الجهد المستمر والمتردد $V_{DC} < V_P$

الموضوع الرابع: الموجات غير الجيبية

1- 8 الموجات غير الجيبية Non Sinusoidal Wave Forms

1- 8- 1 مقدمة:

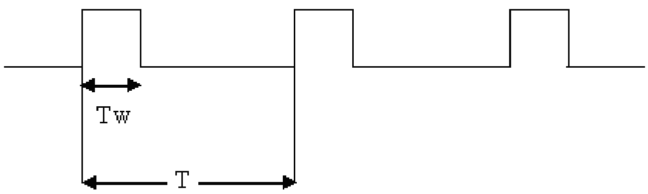
في الحياة العملية، هناك أنواع وأشكال عديدة للموجات. حيث يأخذ بعضها الشكل الجيبي كما تم شرحه في الأجزاء السابقة، والبعض الآخر يتخذ أشكالا مختلفة تستخدم في كثير من التطبيقات الكهربائية والاتصالات. من هذه الأشكال النبضات التالية:

1. موجة نبضية (موجة النبضة) Repetitive Pulse Wave Form
2. الموجة المربعة Square Wave Form
3. الموجة المثلثة Triangular Wave Form
4. موجة سن المنشار Saw tooth Wave Form
5. التوافقيات Harmonics

وفيما يلي، سيتم شرح هذه الموجات بالتفصيل.

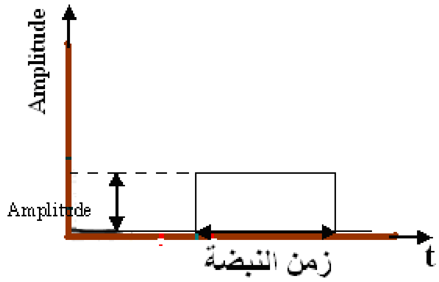
1- 8- 2 موجة نبضية (موجة النبضة) Repetitive Pulse Wave Form

يكون شكل الموجة النبضية كما في الشكل التالي:



شكل (1- 36) موجة النبضة

إن الموجة النبضية تتكون من نبضة تكرر نفسها بصفة دورية بعد مرور زمن يساوي *T*، يسمى الزمن الدوري *Period*. هذه النبضة تتخذ أساسا شكل مستطيل وتتميز بقفزة حادة من جهد معين أساسي (*Baseline*) إلى مستوى أكبر ثم بعد فترة زمنية محددة يكون هناك هبوط حاد إلى المستوى الأول كما بالشكل التالي:

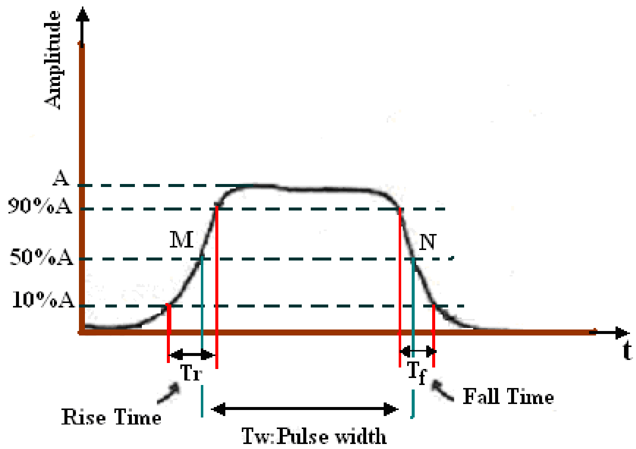


شكل (1- 37) موجة النبضة المثالية

والتي تمثل نبضة مثالية.

ملحوظة:

في الواقع لايمكن أن يغير الجهد من مستواه بصفة فورية (فجأة)، ولكن لابد من وجود زمن معين يستغرقه هذا التغير. انظر الشكل التالي، والذي يمثل شكل النبضة الحقيقية والموجودة في الحياة العملية Practical Pulse Wave Form.



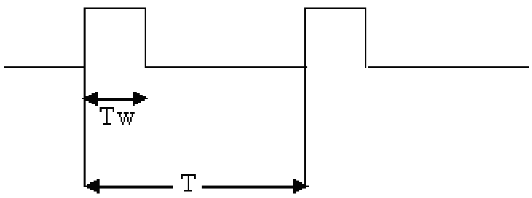
شكل (1- 38) موجة النبضة العملية

وللنبضة الحقيقية، خصائص عدة نذكر منها ما يلي:

1. زمن الصعود (T_r) Rise Time: الزمن الذي يستغرقه الجهد ليرتفع من 10% إلى 90% من القيمة القصوى Amplitude.
2. زمن الهبوط (T_F) Fall Time: الزمن اللازم لكي ينخفض الجهد من 90% إلى 10% من القيمة القصوى.
3. زمن النبضة (T_W) Pulse Width: الزمن بين النقطتين N, M حيث تكون قيمة الجهد 50% من القيمة القصوى A .

كما يمكن إضافة خاصية هامة لموجة النبضة هي:

4. دورة التشغيل The duty Cycle



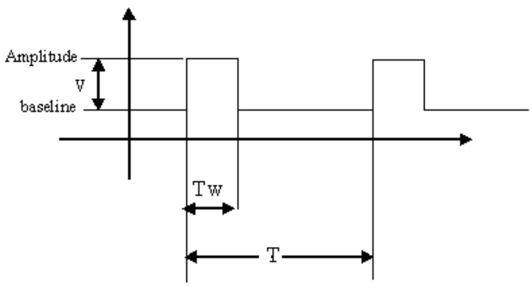
شكل (1- 39) دورة التشغيل لموجة النبضة

ويعبر عنها دائما بالنسبة المئوية بين زمن عرض النبضة (زمن التشغيل) والزمن الدوري للنبضة كما في العلاقة التالية :

$$P.D.C = \left(\frac{T_w}{T}\right)*100\% \qquad (1-17)$$

حيث ($P.D.C$) هي دورة التشغيل المئوية Percent Duly Cycle.

5. القيمة المتوسطة لموجة نبضية Average Value

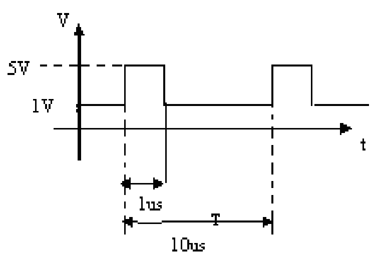


شكل (1- 40) القيمة المتوسطة لموجة النبضة

$$V_{ovg} = V_{baseline} + \frac{Tw}{T} * Amplitude \qquad (1-8)$$

مثال (1- 8):

من موجة النبضة التالية:



شكل (1- 41) الموجة النبضية لمثال (1- 8)

أوجد زمن الدورة T ، والتردد F ، ودورة التشغيل المئوية *P.D.C* ، والقيمة المتوسطة للجهد.

الحل

$$\because T = 10\mu s \Rightarrow F = \frac{1}{T} = \frac{1}{10\mu s} = 100kH_Z$$

$$\text{Percent duty Cycle} = \left(\frac{T_W}{T}\right)100\% = \frac{1}{10} * 100\% = 10\%$$

ملحوظة:

هذه ليست موجة مربعة لأن زمن النبضة يمثل 10% من زمن الدورة.

$$V_{avg} = V_{baseline} + \frac{T_W}{T} * amplitude$$

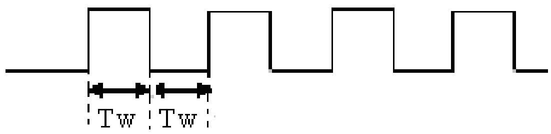
$$= 1V + \frac{1\mu s}{10\mu s} * (5V - 1V) = 1.4V$$

1- 8- 3 الموجة المربعة Square Wave

تمثل الموجة المربعة حالة خاصة من الموجات النبضية وهي التي تكون دورة تشغيلها تساوي 50% ⇐ زمن النبضة = نصف زمن الدورة T ، أي أن:

$$T_W = \frac{T}{2} \qquad (1-19)$$

انظر الشكل التالي:



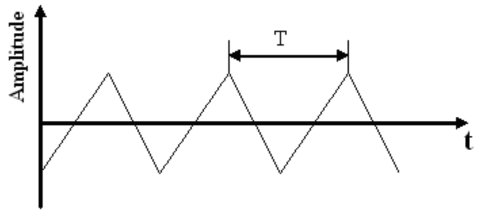
شكل (1- 42) الموجة المربعة

حيث إن:

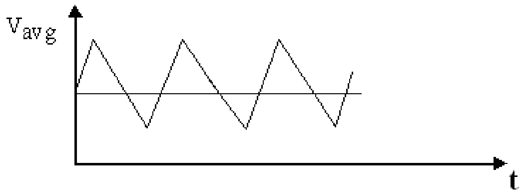
$$T_W = \frac{T}{2}$$

1- 8- 4 الموجةالمثلثة Triangular Wave Form

ويمكن تمثيلها كما بالشكل التالي:

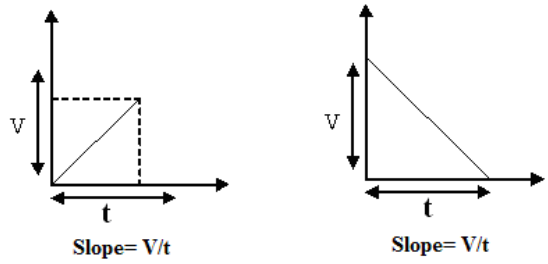


شكل (1- 43- أ) موجة مثلثة مترددة



شكل (1- 43- ب) موجة مثلثة غير مترددة

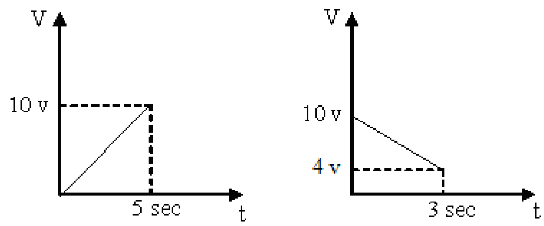
حيث تتكون الموجة المثلثة من انحدارين أحدهما صاعد والآخر خطي نازل، ولهما نفس زمن الانحدار ونفس زمن الميل، كما بالشكل التالي:



شكل (1- 44) مكونات الموجة المثلثية

مثال (1- 9):

أوجد الميل (درجة الانحدار) لكل من:



شكل (1- 45) الموجة المثلثية لمثال (1- 9)

الحل:

$$slope = \frac{v}{t} = \frac{10v}{5s} = 2V/s$$

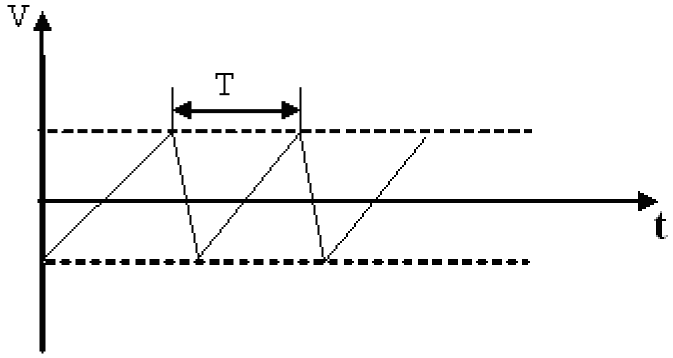
$$slope = -\frac{v}{t} = -\frac{10v - 4v}{3ms}$$

$$= -\frac{6}{3} V/ms$$

$$= -2kV/s$$

1- 8- 5 موجة سن المنشار Saw tooth Wave Form

تعتبر موجة سن المنشار حالة خاصة من الموجات المثلثة، وتتميز بأن لها شكل سن المنشار، كما بالشكل التالي:



شكل (1- 46) موجة سن المنشار

حيث إن هناك ازدياد خطي لمستوى الجهد ثم هبوط سريع إلى المستوى الأدنى، أيضا يكون زمن الانحدار الصاعد أكبر من زمن الانحدار الهابط. كما أن هذه الموجة تستعمل في العديد من الأنظمة الإلكترونية مثل نظم التحكم في الشعاع الإلكتروني للتلفاز حيث يتحكم فيها عن طريق جهد وتيار على شكل سن المنشار.

الخلاصة Summary

1. التيار في الموجة الجيبية ليست له قيمة ثابتة مع الزمن.
2. يمكن تمثيل الجهد المتغير الذي تمثله الموجة الجيبية بتمثيل آخر مكافئ وهو عبارة عن متجه ثابت القيمة قيمته E_m ويدور بسرعة زاوية ثابتة ω.
3. مصادر الجهد المتردد (الجيبي):
   - الآلات الكهربائية المتحركة
   - دوائر المذبذبات الإلكترونية
4. يمكن قياس قيم كل من الجهد والتيار المتردد ، كما يلي:
   - القيمة اللحظية Instantaneous Value
   - أقصى قيمة (القيمة القصوى) Peak Value
   - جذر متوسط مربع التيار والجهد Root Mean Square (RMS Value)
   - القيمة المتوسطة Average Value
5. قانون كيرشوف للجهد : $v_s = v_1 + v_2 + v_3 + ...$
6. قانون كيرشوف للتيار: $\sum I_{Entering} = \sum I_{Leaving}$
7. يجب التعبير عن الجهد والتيار بنفس الطريقة وذلك عند تطبيق قانوني كيرشوف للتيار والجهد.
8. عند وجود مصدرين للجهد أحدهما متردد والآخر مستمر في دائرة من الدوائر الكهربائية وموصلين على التوالي، فإن هذين المصدرين (مصدر الجهد المتردد ومصدر الجهد المستمر) يضاف أحدهما إلى الآخر جبريا.
9. هناك أنواع وأشكال عديدة للموجات، مثل:
   - موجة نبضية (موجة النبضية) Repetitive pulse wave form
   - الموجة المربعة Square Wave
   - الموجةالمثلثة Triangular Wave Form
   - موجة سن المنشار Sawtooth Wave Form

تدريبات على الوحدة الأولى

أولاً : الأسئلة :

أ. اشرح مستعيناً بالرسم كيفية تركيز شدة المجال المغناطيسي داخل الملف

ب. اشرح نظرية عمل المولد الكهربائي

ت. بين كيفية توليد التيار المتردد

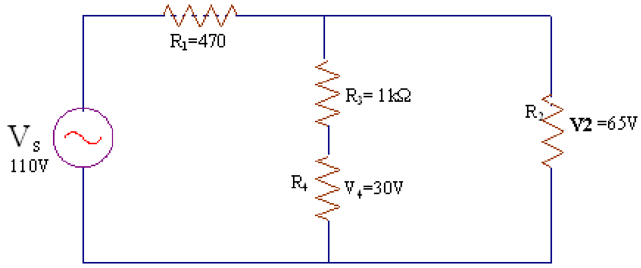
ث. اذكر الصيغ الشهيرة لتمثيل المتجهات رياضياً.

ثانياً : التمارين:

1. موجة جيبية القيمة القصوى لها تساوي $12V$

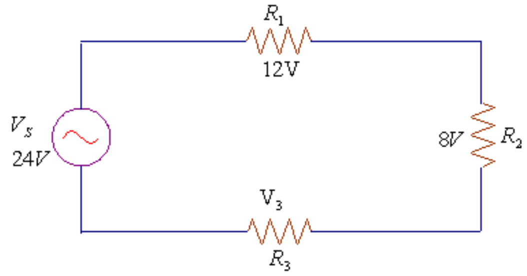
أوجد القيمة RMS والقيمة من القمة إلى القاع V_{PP} والقيمة المتوسطة للجهد V_{AVG}

2. أوجد القيمة المتوسطة للجهد على كل من R_1R_2 علما بأن قيم الجهد في هذا الرسم مكتوبة بالقيمة RMS



شكل (1- 47)

3. أوجد قيمة الجهد على المقاومة R_3 بال RMS



شكل (1- 48)

دوائر كهربائية- 2

المحولات الكهربائية

المحولات الكهربائية

2

الوحدة الثانية

المحولات الكهربائية

الجدارة: القدرة على التعرف على المحولات الكهربائية.

الأهداف: عندما تكتمل هذه الوحدة تكون لدى المدرب القدرة على أن :
يتعرف على المحولات الكهربائية وطريقة عملها.

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل المتدرب إلى إتقان الجدارة بنسبة 90٪

الوقت المتوقع للتدرب على الجدارة: 3 ساعات

الوسائل المساعدة :

- سبورة.
- جهاز عرض بروجكتور باستخدام الحاسب.

متطلبات الجدارة : أن يكون المتدرب قادرا على التعرف وتمييز ما درس سابقا بالإضافة إلى أساسيات الرياضيات في الدوال الهندسية والمتجهات وما ورد في قوانين كيرشوف والملفات.

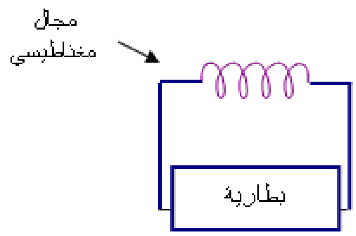
2- 1 مقدمة Introduction

لقد تعرفنا في الوحدة السابقة على التيار المتردد وكيفية الحصول عليه. وفي هذه الوحدة سنتعرف على المحولا ت الكهربائية Transformers ، كما سنتعرف على بعض الأساسيات كما يلي:

1. المحاثة التبادلية (المتبادلة) Mutual Inductance
2. المحول الأساسي The Basic Transformer
3. محول الرفع Step up – Transformer
4. محول الخفض Step –down Transformer

2- 2 المحاثة التبادلية Mutual Inductance

عند لف سلك كهربائي حول نفسه لفة واحدة أو أكثر نحصل على العنصر الكهربائي المحث، أو ملف المحاثة Inductor ، حيث إنه عند مرور تيار كهربائي خلال هذا السلك الملفوف يتكون مجال كهرومغناطيسي ثلاثي الأبعاد حول الملف في كل الاتجاهات. كما أن وجود هذا التيار وتغيره ينتج عنه تكون جهد مستحث نتيجة تغير المجال المغناطيسي، كما في الشكل التالي:



شكل (2- 1) المجال المغناطيسي

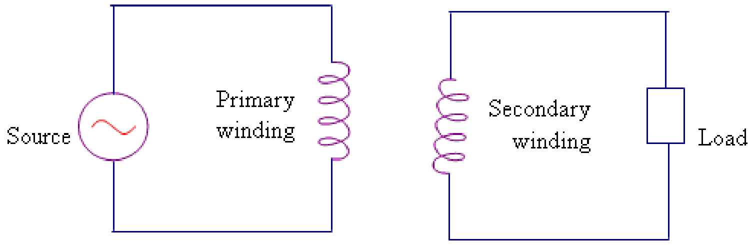
ملحوظة:

إذا كان التيار عبر الملف الأول متردداً فإن الجهد المستحث يكون أيضا مترددا. حيث تسمى هذه الظاهرة بالمحاثة التبادلية وعليها يرتكز عمل المحولات.

2- 3 المحول البسيط The Basic Transformer

2- 3- 1 تركيبه Structure

المحول الأساسي يتكون من ملفين متقاربين بحيث تكون هنالك محاثة تبادلية. كما بالشكل التالي:



شكل (2- 2) المحول البسيط

حيث إن:

الملف الأيسر يعرف بالملف الابتدائي ويسمى اللفيفة الابتدائية Primary Winding وهو الذي يوصل عادة بالمصدر.

والملف الأيمن يعرف بالملف الثانوي ويسمى اللفيفة الثانوية Secondary Winding وهو الذي يوصل بالحمل.

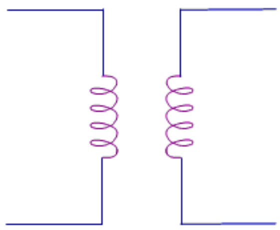
ملحوظة:

لفيفتا المحول تكون حول مايسمى بقلب المحول The Core هذا القلب يوفر مسارا للمجال الكهرومغناطيسي بحيث يكون مركزا حوله.

2- 3- 2 أنواعه:

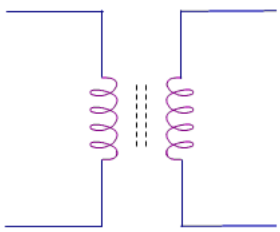
توجد ثلاثة أنواع لقلب المحول، وهي كما يلي:

1. قلب هواء Air Core ورمزه البياني كما بالشكل التالي:



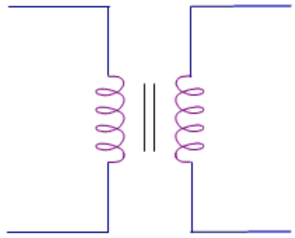
شكل (2- 3) المحول ذو القلب الهوائي

2. قلب فريت Ferrite Core ورمزه البياني:



شكل (2- 4) محول قلب الفريت

3. قلب حديد Iron Core ورمزه البياني:



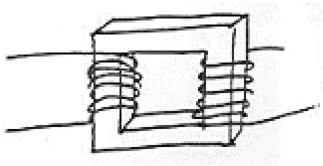
شكل (2- 5) محول القلب الحديدي

حيث يستخدم النوع الأول والثاني في التطبيقات ذات التردد العالي High Frequency Applications، أما النوع الأخير Iron Core فيستخدم خاصة في التطبيقات ذات القدرة العالية Power Applications والتطبيقات ذات الترددات الصوتية Audio Frequency Applications.

2- 3- 3 طرق تصنيعها:

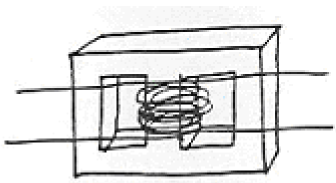
من المفيد معرفة طرق تصنيع المحولات، حيث توجد طريقتان لتصنيع المحولات:

أولا: لف كل لفيفة على دعامة منفردة، وهذا النوع يسمى Core –type، كما بالشكل التالي:



شكل (2- 6- أ) اللفات على دعامات متفردة

ثانيا: لف اللفيفتين على دعامة واحدة وهذا النوع يسمى Shell – type ، كما بالشكل التالي:



شكل (2- 6- ب) اللفات على دعامة مشتركة

ملحوظة:

لتجنب تلامس الأسلاك ببعضها، تدهن هذه الأسلاك بمادة عازلة تشبه الورنيش Varnish.

4-12 نسبة التحويل (نسبة اللفات) وإتجاه اللف:

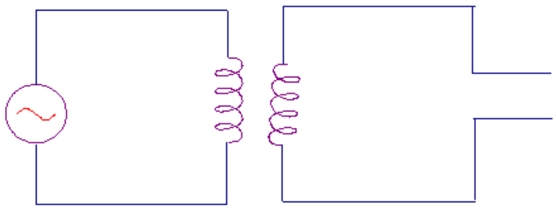
2- 4- 1 نسبة التحويل أو نسبة اللفات Turns Ratio

نسبة التحويل (N) هي االنسبة بين عدد لفات اللفيفة الثانوية N_{sec} وعدد لفات اللفيفة الابتدائية N_{pri} ، كما في العلاقة التالية:

$$N = \frac{N_{Sec}}{N_{\Pr i}} \qquad (2-\ 1)$$

مثال (2- 1):

في الشكل التالي:



شكل (2- 7) الدائرة الكهربائية لمثال (2- 1)

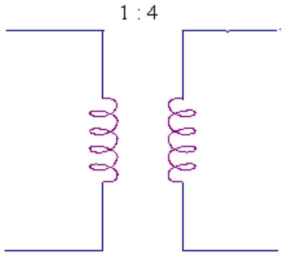
$N_{\Pr i} = 100$ لفة

$N_{\sec} = 400$ لفة

وبالتالي فإن:

$$N = \frac{N_{Sec}}{N_{\Pr i}} = \frac{400}{100} = 4$$

كما يمكن أن نرمز لهذه النسبة على الرسم كما يلي:



شكل (2- 8) رمز نسبة التحويل

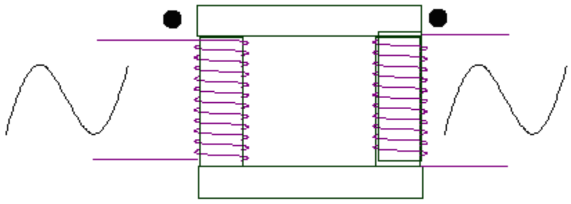
أي إن لفة واحدة من اللفيفة الابتدائية يقابلها 4 لفات من اللفيفة الثانوية.

2- 4- 2 اتجاه اللف Direction of Winding

في الحياة العملية يوجد نوعان من المحولات فهناك محولات تحافظ على قطبية المصدر وأخرى تعكسها وذلك حسب اتجاه لف السلك، كما في الحالات التالية:

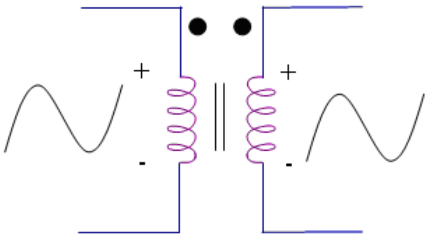
الحالة الأولى:

في هذه الحالة، تكون الملفات لها نفس اتجاه اللف حول القلب، أي إن الملفين الابتدائي والثانوي متطابقا الطور Primary and Secondary are in phase. كما بالشكل التالي:



شكل (2- 9) الملفات لها نفس اتجاه اللف

والرسم الهندسي يكون كما يلي:



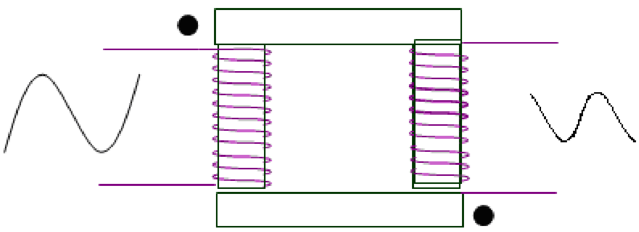
شكل (2- 10) الرمز الهندسي للملفات لها نفس اتجاه اللف

ملحوظة:

تستخدم النقاط للدلالة على مدى تطابق الطور كما في الشكل السابق.

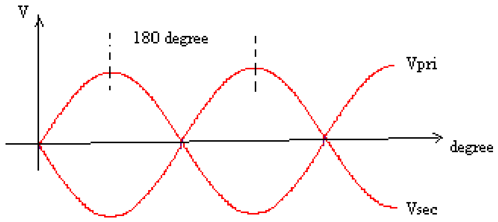
الحالة الثانية:

في هذه الحالة، يكون اتجاه اللف متعاكساً أي إن الملفين متعاكسان لكل منهما اتجاه مختلف كما في الرسم التالي:



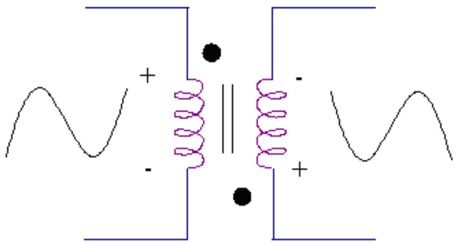
شكل (2- 11) الملفات لها اتجاهات لف متعاكسة

وبالنسبة لفارق الطور بين الجهد الابتدائي والجهد الثانوي فإن $T = 180^0$، كما بالشكل التالي:



شكل (2- 12) فارق الطور بين الجهد الابتدائي والثانوي

والرمز الهندسي يكون كما يلي:



شكل (2- 13) الرمز الهندسي للملفات التي لها اتجاه لف متعاكس

2- 5 علاقة الجهد والتيار في الملف Inductance Voltage and Current Relationship

2- 5- 1 العلاقة بين الجهد الابتدائي والجهد الثانوي

Primary and Secondary Voltage Relationship

من الممكن تمثيل العلاقة بين الجهد الابتدائي والجهد الثانوي، حيث إن النسبة بين الجهد الابتدائي والجهد الثانوي تساوي النسبة بين عدد لفات اللفيفة الابتدائية (الملف الإبتدائي) واللفيفة الثانوية (الملف الثانوي) أي أن:

$$\frac{V_{SEC}}{V_{PRI}} = \frac{N_{SEC}}{N_{PRI}} = N \qquad (2-2)$$

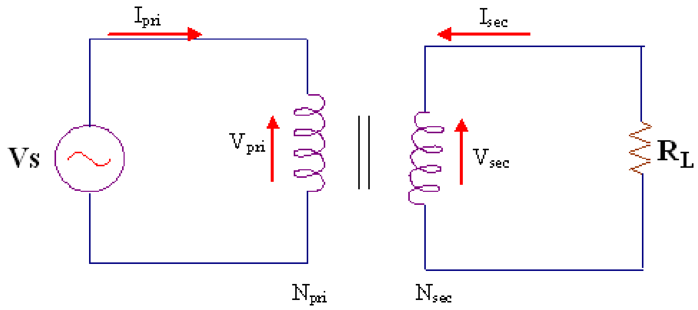
وبالتالي فإن:

$$\Rightarrow V_{SEC} = \left(\frac{N_{SEC}}{N_{PRI}}\right) V_{PRI} = N * V_{PRI} \qquad (2-3)$$

2- 5- 2 العلاقة بين التيار الابتدائي و التيار الثانوي

Primary and Secondary Current Relationship

عند توصيل مقاومة حمل باللفيفة الثانوية (الملف الثانوي) فإنة ينتج عنها سريان تيار كهربائي عبر المقاومة نظرا لفارق الجهد المستحث عبر اللفيفة الثانوية (الملف الثانوي)، كما بالشكل التالي:



شكل (2- 14) العلاقة بين التيار الابتدائي والثانوي

كما يمكن تمثيل العلاقة التي تربط بين التيار الابتدائي I_{PRI} والتيار الثانوي I_{sec} كالتالي:

$$\frac{I_{sec}}{I_{PRI}} = \frac{N_{PRI}}{N_{sec}} = \frac{1}{N} \qquad (2-\ 4)$$

وبالتالي فإن:

$$\Rightarrow I_{sec} = \left(\frac{N_{PRI}}{N_{sec}}\right) * I_{PRI} = \frac{I_{PRI}}{N} \qquad (2-\ 5)$$

ملحوظة: يمكن تصنيف المحولات أيضا بالنسبة للجهد الابتدائي والجهد الثانوي وعلاقتهما ببعض كمايلي:

1. محول رفع $step-up$ يضاعف الجهد وينقص التيار.
2. محول خفض $step-down$ ينقص الجهد ويزيد التيار.

2- 6 أنواع المحولات Transformer Types

2- 6- 1 محول رفع Step–up Transformer

نحصل على هذا النوع من المحولات، إذا كان عدد لفات اللفيفة الثانوية (الملف الثانوي) أكبر من عدد لفات اللفيفة الابتدائية (الملف الابتدائي). وبالتالي فإن نسبة التحويل تكون أكبر من 1 . ويطلق على هذا النوع من المحولات اسم محول رفع. والعلاقات التالية توضح الحالة:

$$N_{SEC} > N_{PRI} \qquad (2-\ 6)$$

أي إن $N > 1$ ، ولذلك فإنه تبعا للعلاقة (2- 2) يكون:

$$V_{SEC} > V_{PRI} \qquad (2-\ 7)$$

أي إن الجهد الثانوي أكبر من الجهد الابتدائي، وتبعا للعلاقة (2- 5) يكون $I_{SEC} < I_{PRI}$ ، أي إن التيار الثانوي أقل من التيار الابتدائي

2- 6- 2 محول خفض Step–down Transformer

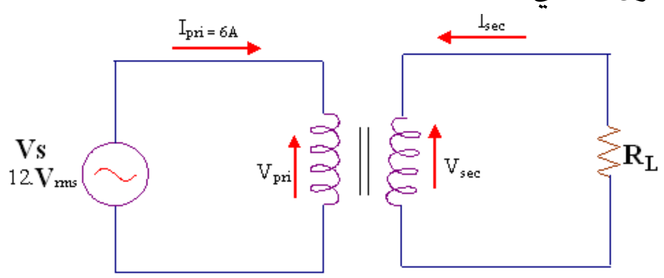
في هذا النوع من المحولات، يكون عدد لفات اللفيفة الثانوية (الملف الثانوي) أقل من عدد لفات اللفيفة الابتدائية (الملف الابتدائي). وبالتالي فإن نسبة التحويل تكون أقل من 1 . ويطلق على هذا النوع من المحولات اسم محول خفض. والعلاقات التالية توضح الحالة:

$$N_{SEC} < N_{PRI} \qquad (2-8)$$

أي إن $N < 1$ وبالتالي يكون الجهد الثانوي أقل من الجهد الابتدائي $V_{SEC} < V_{PRI}$، وأيضا التيار الثانوي أكبر من التيار الابتدائي $I_{SEC} > I_{PRI}$.

مثال (2- 2):

إذا كان عدد لفات الملف الابتدائي تساوي 200 لفة، والملف الثانوي 600 لفة، أوجد الجهد الثانوي والتيار الثانوي للمحول التالي:



شكل (2- 15) الدائرة الكهربائية لمثال (2- 2)

الحل:

$$V_{SEC(rms)} = \left(\frac{N_{SEC}}{N_{PRI}}\right) * V_{PRI(rms)} = \frac{600}{200} * 120 = 360V$$

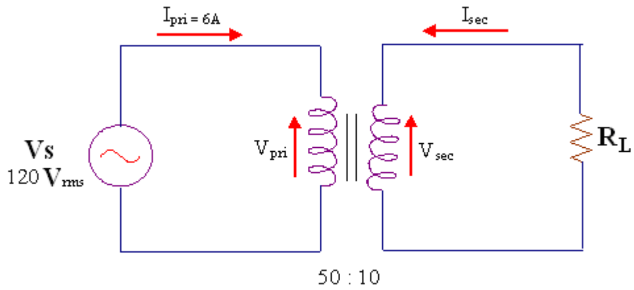
$$= N * V_{PRI(rms)} = 3 * 120 = 360V \qquad \text{, where N=3}$$

$$I_{SEC(rms)} = \left(\frac{N_{PRI}}{N_{SEC}}\right) * I_{PRI(rms)} = \frac{200}{600} * 6 = 2A$$

بما أن جهد الخرج على مقاومة الحمل أكبر من جهد الدخل، إذن هذا المحول يزيد في قيمة الجهد فهو محول رفع Step– up Transformer. ولكن التيار في هذه الحالة يقل بسبب التناسب العكسي مع نوع المحول.

مثال (2- 3):

أوجد الجهد الثانوي والتيار الثانوي للمحول التالي:



شكل (2- 16) الدائرة الكهربائية لمثال (2- 3)

الحل:

$$V_{SEC(rms)} = \frac{N_{SEC}}{N_{PRI}} * V_{PRI(rms)} = \frac{10}{50} * 120 = 24V$$

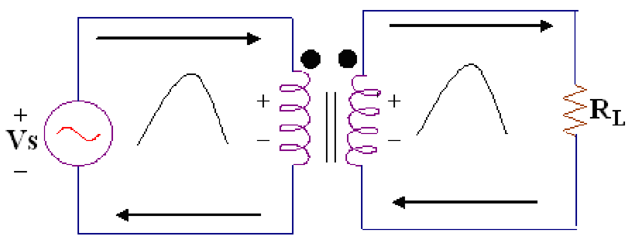
$$I_{SEC(rms)} = \frac{N_{PRI}}{N_{SEC}} * I_{PRI(rms)} = \frac{50}{10} * 6A = 30A$$

هذا المحول ينقص الجهد ⇐ محول خفض Step– down Transformer. وأيضا التيار في هذه الحالة يزيد.

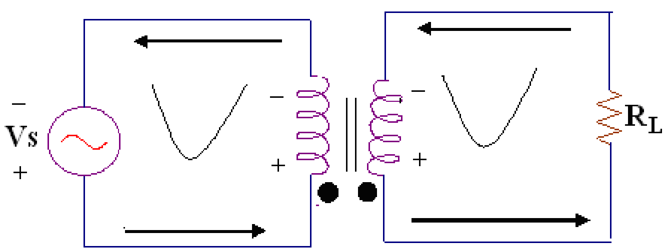
2- 7 اتجاه التيار في المحولات Transformer Current Direction

توجد حالتان لاتجاه التيار في المحول، كما يلي:

1. المحول لا يعكس القطبية (نفس اتجاه اللف)، كما بالشكل التالي:

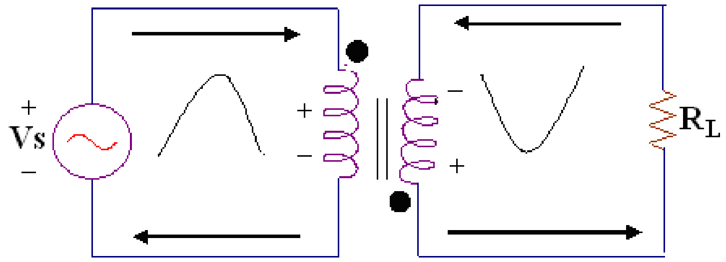


شكل (2- 17- أ) اتجاه التيار في المحولات التي لها نفس اتجاه الملف خلال نصف الموجة الموجب

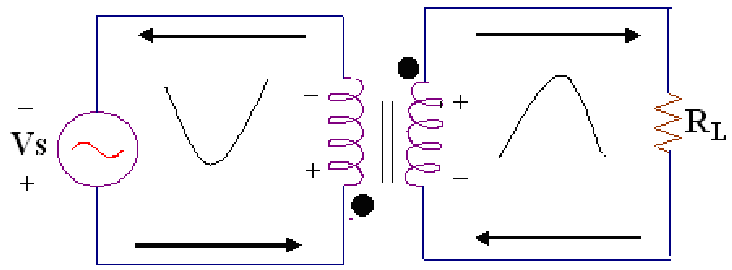


شكل (2- 17- ب) اتجاه التيار في المحولات التي لها نفس اتجاه الملف خلال نصف الموجة السالب

2. المحول يعكس القطبية (اتجاها اللف مختلفان)، كما بالشكل التالي:



شكل (2- 18- أ) اتجاه التيار في المحولات التي لها عكس اتجاه الملف خلال نصف الموجة الموجب



شكل (2- 18- ب) اتجاه التيار في المحولات التي لها عكس اتجاه الملف خلال نصف الموجة السالب

الخلاصة Summary

1. عند لف سلك كهربائي حول نفسه لفة واحدة أو أكثر نحصل على العنصر الكهربائي المحث.
2. إذا كان التيار عبر الملف الأول متردداً فإن الجهد المستحث يكون أيضا مترددا. حيث تسمى هذه الظاهرة بالمحاثة التبادلية وعليها يرتكز عمل المحولات.
3. الملف الابتدائي يسمى : اللفيفة الابتدائية Primary Winding وهو الذي يوصل عادة بالمصدر.
4. الملف الثانوي : اللفيفة الثانوية Secondary Winding وهو الذي يوصل بالحمل الكهربائي.
5. نسبة التحويل (N) هي االنسبة بين عدد لفات اللفيفة الثانوية $N_{\sec}$ وعدد لفات اللفيفة الابتدائية N_{pri}.
6. النسبة بين الجهد الابتدائي والجهد الثانوي تساوي النسبة بين عدد لفات اللفيفة الابتدائية (الملف الابتدائي) واللفيفة الثانوية (الملف الثانوي) أي إن:

$$\frac{V_{SEC}}{V_{PRI}} = \frac{N_{SEC}}{N_{PRI}} = N$$

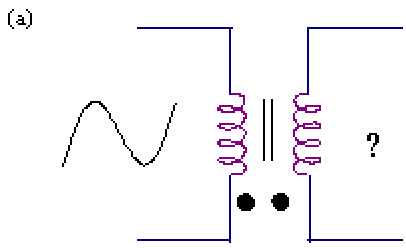
7. كما يمكن تمثيل العلاقة التي تربط بين التيار الابتدائي I_{PRI} والتيار الثانوي $I_{\sec}$ كالتالي:

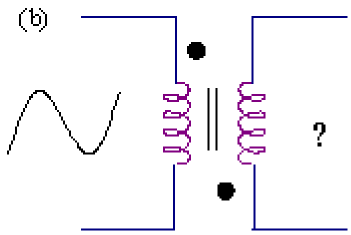
$$\frac{I_{\sec}}{I_{PRI}} = \frac{N_{PRI}}{N_{\sec}} = \frac{1}{N}$$

8. يمكن تصنيف المحولات أيضا بالنسبة للجهد الابتدائي والجهد الثانوي وعلاقتهما ببعض كما يلي:
   أ. محول رفع $step-up$ يضاعف الجهد وينقص التيار.
   ب. محول خفض $step-down$ ينقص الجهد ويزيد التيار.

تدريبات على الوحدة الثانية

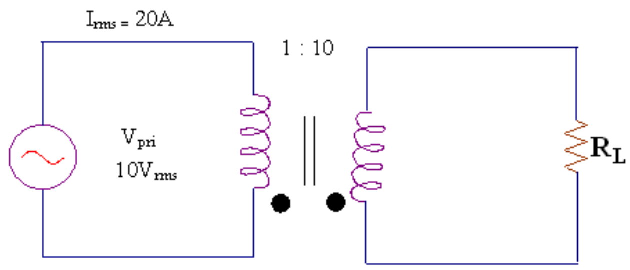
1. للمحولات التالية، بين الجهد الثانوي وطوره بالنسبة للجهد الابتدائي:





شكل (2- 19)

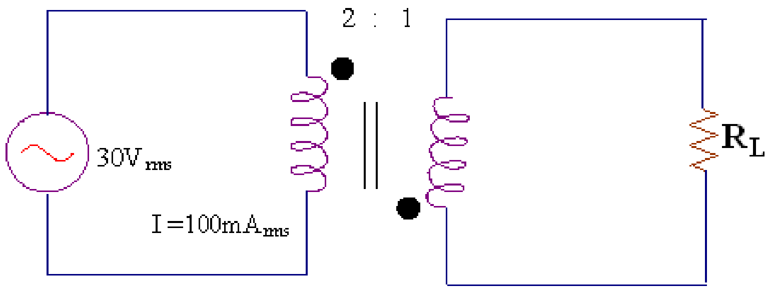
2. للمحول التالي:



شكل (2- 20)

1. أوجد القيمة المتوسطة للجهد الثانوي $V_{sec(avg)}$
2. أوجد قيمة التيارالفعلية (الثانوي)، وأوجد اتجاه التيار الثانوي بالنسبة لاتجاه التيار الابتدائي المبين على الرسم؟

3. للمحول التالي:



شكل (2- 21)

1. أوجد القيمة الفعلية للجهد الثانوي .
2. أوجد القيمة المتوسطة للتيارالثانوي. ثم بين اتجاه التيار الثانوي بالنسبة لاتجاه التيار الابتدائي الموضح على الرسم.

دوائر كهربائية- 2

دوائر المقاومة والمكثف

دوائر المقاومة والمكثف

3

الوحدة الثالثة

دوائر المقاومة والمكثف

الجدارة: القدرة على التعرف على دوائر المقاومة والمكثف.

الأهداف: عندما تكتمل هذه الوحدة تكون لدى المدرب القدرة على أن :
يتعرف على دوائر المقاومة والمكثف.

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل المتدرب إلى إتقان الجدارة بنسبة 90٪

الوقت المتوقع للتدرب على الجدارة: 9 ساعات

الوسائل المساعدة :

- سبورة.
- جهاز عرض بروجكتور باستخدام الحاسب.

متطلبات الجدارة : أن يكون المتدرب قادرا على التعرف وتمييز ما درس سابقا بالإضافة إلى أساسيات الرياضيات في الدوال الهندسية والمتجهات وما ورد في قوانين كيرشوف والمكثفات.

3- 1 مقدمة Introduction

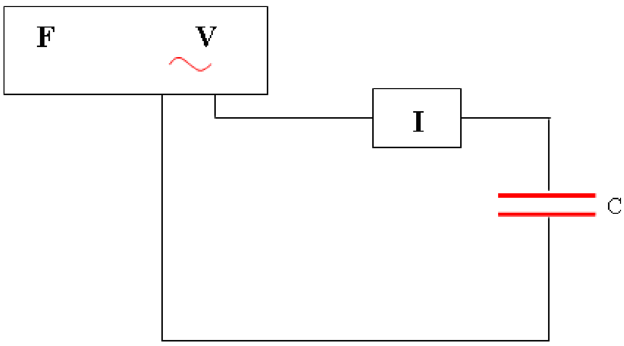
يعتبر المكثف من العناصر الهامة في علم الكهرباء نظرا لكثرة التطبيقات التي يستخدم فيها، حيث إنه يمنع التيار المستمر من العبور بعد أن يشحن. وعملية الشحن قصيرة جدا، حيث تقدر بالميكروثانية μs. أما في دوائر التيار المتردد AC، فإن المكثف يسمح بمرور التيار المتردد ولكن بحدود، حيث إن مقدار هذه السماحية يعتمد على عاملين هما التردد Frequency وسعة المكثف Capacitance.

3- 2 المفاعلة السعوية X_C Capacitive Reactance

لمعرفة ماهية المفاعلة السعوية X_C، سنقوم بتنفيذ التجربتين التاليتين:

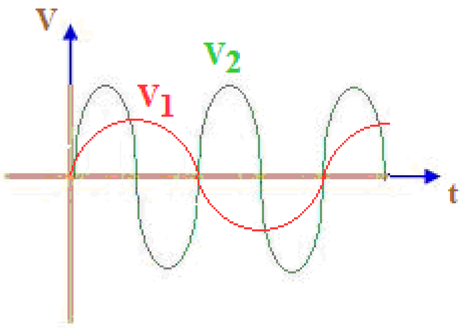
التجربة الأولى

نقوم بتوصيل مكثف بمصدر للجهد المتردد يمكن التحكم في تردده، ونقوم بقياس التيار الكهربائي الذي يسري في الدائرة، كما بالشكل التالي:



شكل (3- 1) الدائرة الكهربائية للتجربة الأولى

سنلاحظ أنه إذا قمنا بزيادة قيمة التردد F، فإن شدة التيار تزداد. لماذا؟



شكل (3- 2) موجتان جيبيتان لهما ترددان مختلفان

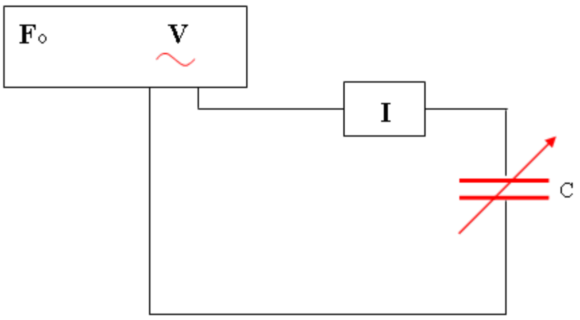
في شكل (3- 2)، الموجة (1) ذات تردد منخفض بالنسبة لتردد الموجة (2). أيضا، وفي زمن قدره t يبلغ الجهد ذو التردد العالي مستوى أكبر مما يبلغه الجهد ذو التردد المنخفض $V_2 > V_1$. وباعتبار أن $C = \frac{Q}{V} \Leftarrow Q = CV \Leftarrow$ الشحنة أكبر $\Leftarrow$ التيار أشد، أي إن $I_2 > I_1$. وهذا يعني أنه إذا زاد التردد زاد التيار وإذا نقص التردد نقص التيار $\Leftarrow$ممانعة المكثف لمرور التيار تضعف إذا زاد التردد وتشتد (تزيد) إذا نقص التردد، أي إن هذه الممانعة تتناسب عكسيا مع التردد.

ملحوظة:

ممانعة المكثف للتيار المتردد تسمى المفاعلة السعوية X_C Capacitive Reactance، ووحدة قياس المفاعلة السعوية X_C هي الأوم $Ohm(\Omega)$.

التجربة الثانية

نقوم بتوصيل مكثف متغير بمصدر للجهد المتردد ونقوم بتثبيت هذا الجهد على تردد معين ثم نقوم بتغيير مقدار السعة، كما بالشكل التالي:



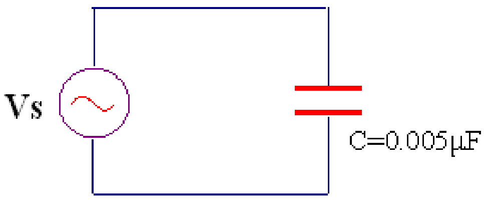
شكل (3- 3) الدائرة الكهربائية للتجربة الثانية

سنلاحظ أنه عند زيادة السعة، ستزيد شدة التيار $\Leftarrow$ الممانعة تتناسب عكسيا مع سعة المكثف. وبالتالي يمكن التوصل إلى صيغة المفاعلة السعوية Capacitive Reactance Formula، وهي كما يلي:

$$X_C = \frac{1}{2\pi . F . C} \qquad (3\text{-}1)$$

مثال (3- 1):

في الدائرة التالية:



شكل (3- 4) الدائرة الكهربائية لمثال (3- 1)

أوجد قيمة المفاعلة السعوية X_C ، إذا كان التردد $f = 1kHz$.

الحل:

$$X_C = \frac{1}{2\pi F.C} = \frac{1}{2\pi * 1 * 10^3 * 0.005 * 10^{-6}} = 31.8k\Omega$$

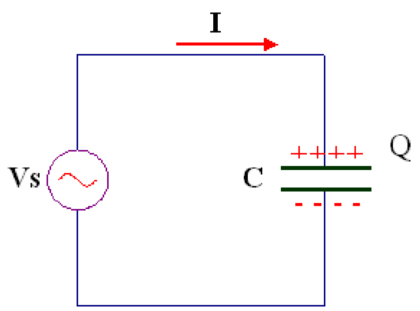
3-3 قانون أوم في دوائر التيار المتردد التي تحتوي على مكثف Ohm's Law in Capacitive AC Circuits

لقد وجد أنه بوضع لوحين من المعدن في مواجهة بعضهما ويفصل بينهما مسافة بها عازل، و تم توصيل مصدر للجهد بين هذين اللوحين كما هو مبين بشكل رقم (3- 3)، فإن شحنة كهربائية تتكون على هذين القطبين، وتتناسب مع الجهد المطبق بينهما. أي أن:

$$Q \propto V \qquad (3-2)$$

$$Q = CV \qquad (3-3)$$

يسمى هذاالعنصر بالمكثف ويسمى ثابت التناسب C بسعة المكثف، وتقاس السعة بوحدات الفاراد Farad.



شكل (3- 5) عنصر المكثف في الدائرة الكهربائية

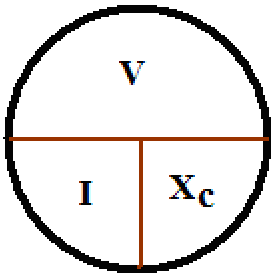
كما أن المفاعلة السعوية بالنسبة لمكثف تكون مماثلة للمقاومة في الدوائر الكهربائية التي تحتوي على مقاومات، أي إنه يمكن استخدام علاقات قانون أوم مع المفاعلة السعوية. حيث يمكن كتابة قانون أوم بالنسبة للمكثف، كما يلي:

$$V = I * X_C \qquad (3-4)$$

$$I = \frac{V}{X_C} \qquad (3-5)$$

$$X_C = \frac{V}{I} \qquad (3-6)$$

كما يمكن اختصار هذه العلاقات في الشكل التالي:



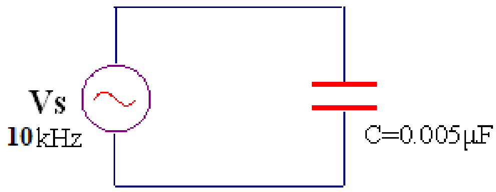
شكل (3- 6) اختصار لعلاقات قانون أوم

ملحوظة:

في دوائر التيار المتردد يجب كتابة الجهد والتيار بنفس الطريقة، سواء RMS أو $Peak$ أو $Peak-to-Peak$.

مثال (3- 2):

في الدائرة الخاصة بمثال (3- 1)، إذا كانت قيمة مصدر الجهد تساوي 5V، كما يلي:



شكل (3- 7) الدائرة الكهربائية لمثال (3- 2)

أوجد قيمة الذروة $Peak$ بالنسبة للتيار I_P.

الحل:

1. لإيجاد قيمة I_P، نوجد أولا X_C كما في العلاقة التالية:

$$X_C = \frac{1}{2\pi FC} = \frac{1}{2\pi(10*10^3)*(0.005*10^{-6})} = 3.18k\Omega$$

2. نطبق قانون أوم لإيجاد $I_{r.m.s}$ كما يلي:

$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{X_C} = \frac{5}{3.18*10^3} = 1.57mA$$

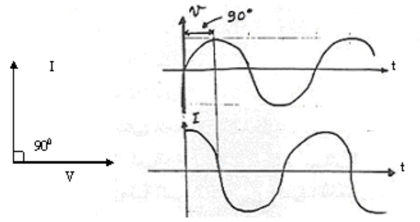
3. نحول القيمة $I_{r.m.s}$ إلى I_P كالتالي:

$$I_P = 1.414 * I_{rms} = 2.22mA$$

3- 4 علاقة التيار والجهد في دوائر المكثف:

Current & Voltage Relationship in Capacitive Circuits

رأينا سابقا، أنه بالنسبة للمقاومات يكون الجهد المطبق على المقاومة والتيار المار عبرها متطابقين في الطور، أي إن (V_R and I_R are in Phase). أما بالنسبة للمكثفات، فإن التيار الذي يمر خلال المكثف يتقدم Leads على جهد المكثف بفارق طور يساوي 90^o، والشكل التالي يوضح وجود زاوية الطور (Phase Shift) بينهما.



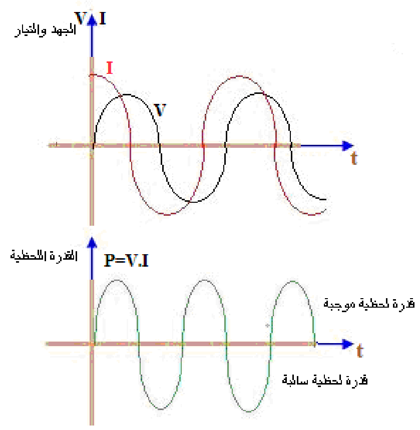
شكل (3- 8) علاقة الجهد والتيار في دوائر المكثف

3- 5 القدرة في دوائر المكثف Power in Capacitor Circuits

رأينا سابقا، أن القدرة في دوائر المقاومة التي تغذى بمصدر تيار مستمر DC تعتمد على العلاقة الرياضية $P = V.I$، وذلك لإيجاد قيمة القدرة. أما بالنسبة لقدرة المكثف في دوائر التيار المتردد، فالأمر مختلف قليلا. ولشرح القدرة في دوائر المكثف عند تغذيتها بمصدر تيار متردد، فإنه يمكن تصنيف القدرة في دوائر المكثف كالتالي:

3- 5- 1 القدرة اللحظية Instantaneous Power

القدرة اللحظية هي مقدار القدرة المبددة (المفقودة) في لحظة معينة وهو يساوي حاصل ضرب مقدار الجهد في تلك اللحظة في مقدار التيار في اللحظة نفسها. انظر الشكل التالي:



شكل (3- 9) القدرة اللحظية

ملحوظات:

1. القدرة اللحظية تتغير كموجة ترددها ضعف تردد الجهد أو التيار.
2. القدرة اللحظية = صفراً، عندما I=0A أو V=0V.
3. عند كل $I_{max} \Rightarrow V_{min}$.
4. المكثف يخزن الطاقة كما رأينا سابقا.

وينبغي الإشارة إلى أنه عندما يسلط جهد متردد على المكثف فإن هذا المكثف سيخزن الطاقة طيلة فترة زمنية ثم بعد ذلك يعيد هذه الطاقة المخزونة إلى المصدر أثناء فترة زمنية أخرى. هذه الفترة الزمنية التي تكون فيها القدرة اللحظية موجبة، فإن المكثف يخزن الطاقة أي عندما يكون الجهد موجبا والتيار موجبا أو الجهد سالبا والتيار سالبا. أما أثناء الفترة الزمنية التي تكون فيها القدرة اللحظية سالبة، فإن المكثف يعيد الطاقة إلى المصدر، أي عندما يكون الجهد موجبا والتيار سالبا أو الجهد سالبا والتيار موجبا.

3- 5- 2 القدرة الحقيقية P_{true} True Power

لشرح القدرة الحقيقية، ينبغي التفكير في المكثف المثالي، حيث إن المكثف المثالي لايستهلك الطاقة وإنما يخزنها ويعيدها بأكملها إلى المصدر. كما أن القدرة الحقيقية لمكثف مثالي دائما يتم الحصول عليها كما في العلاقة التالية:

$$P_{true} = 0 \quad (3-7)$$

لكن في الواقع الأمر يختلف، وذلك نظرا لوجود خاصية التسرب Leakage في المكثف ،وباعتبار أن كل مكثف في الواقع تكون له مقاومة معينة تعرف بمقاومة العازل. وبالتالي فإن هناك نسبة ضئيلة من القدرة التي تبدد تكون في شكل قدرة حقيقية.

3- 5- 3 القدرة المفاعلة Reactive Power P_r

إن القدرة المفاعلة تمثل معدل سرعة شحن الطاقة أو عودتها إلى المصدر، ويمكن إيجاد قيمتها باستخدام صيغة القدرة المفاعلة كما يلي:

$$P_r = V_{rms} * I_{rms} \quad (3-8)$$

$$P_r = \frac{V^2_{rms}}{X_C} \quad (3-9)$$

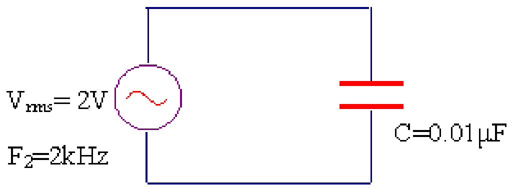
$$P_r = I^2_{rms} * X_C \quad (3-10)$$

ملاحظات:

1. وحدة القدرة الحقيقية P_{true} هي الوات watt.
2. وحدة القدرة المفاعلة P_r هي Volt – Ampere –Reactive والتي يمكن اختصارها إلى VAR

مثال (3- 3)

في الدائرة التالية:



شكل (3- 10) الدائرة الكهربائية لمثال (3- 3)

أوجد قيمة القدرة الحقيقية والقدرة المفاعلة.

الحل:

$$P_{true} = 0W$$

$$P_r = \frac{{V_{rms}}^2}{X_C}$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi.FC} = 7.96k\Omega$$

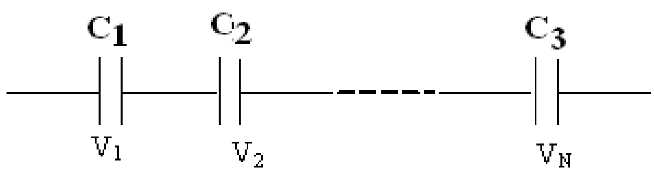
$$\Rightarrow P_r = \frac{2^2}{7.96*10^3} = 503*10^{-6}VAR = 503\mu VAR$$

3- 6 دوائر التوالي والتوازي للمكثفات Series & Parallel Capacitive AC Circuits

رأينا سابقا، كيفية حساب السعة الإجمالية لمكثفات موصلة على التوالي وأيضا على التوازي في دوائر التيار المستمر. أما هذا الجزء فسوف يشرح التوصيل توالي وتوازي للمكثفات في دوائر التيار المتردد، كما يلي:

3- 6- 1 المكثفات على التوالي Series Capacitors

تظهر المكثفات الموصلة على التوالي كما بالشكل التالي:



شكل (3- 11) توصيل المكثفات على التوالي

وتكون السعة الكلية لهذه المكثفات كما يلي:

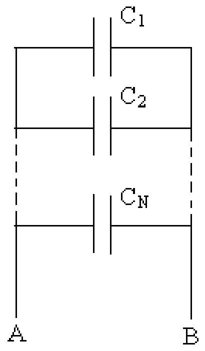
$$C_T = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots \frac{1}{C_N}} \quad (3-\ 11)$$

وبالتالي، فإن:

$$X_{C_T} = X_{C_1} + X_{C_2} + X_{C_N} \quad (3-\ 12)$$

3- 6- 2 المكثفات على التوازي Parallel Capacitors

تظهر المكثفات الموصلة على التوازي كما بالشكل التالي:



شكل (3- 12) توصيل المكثفات على التوازي

وتكون السعة الكلية لهذه المكثفات كما يلي:

$$C_T = C_1 + C_2 + \cdots + C_N \quad (3-\ 13)$$

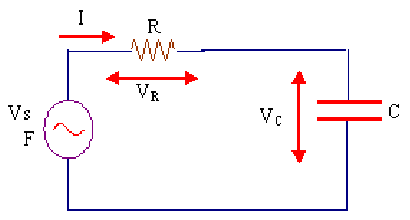
وبالتالي، فإن:

$$X_{C_T} = \frac{1}{\frac{1}{X_{C_1}} + \frac{1}{X_{C_2}} + \dots \frac{1}{X_{C_N}}} \quad (3-\ 14)$$

3- 7 دوائر المقاومة والمكثف على التوالي Series RC Circuits

3- 7- 1 خواص دوائر المقاومة والمكثف على التوالي Characteristics of RC Circuits

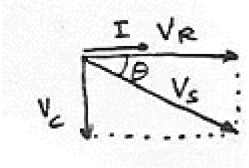
في دوائر المقاومة والمكثف توالي، توصل المقاومة مع المكثف كما في الشكل التالي:



شكل (3- 13) دائرة المكثف والمقاومة على التوالي

وبالتالي فإن المكثف يتسبب في وجود فارق في زاوية الطور بين التيار الذي يعبره I_C والجهد المطبق عليه V_C. وعلى العكس تماما، فإن التيار المار في المقاومة I_R والجهد V_R متطابقا الطور، أي إن التيار الذي يعبر المقاومة وجهد المقاومة لهما نفس زاوية الطور.

وبسبب خاصية المكثف، نجد أن I_C يتقدم على V_C بزاوية طور مقدارها 90^o ، مما يؤدي إلى أن الجهد على المقاومة V_R يتقدم على جهد المكثف V_C بزاوية مقدارها 90^o. وعند رسم المتجهين لجهدي المكثف والمقاومة، نجد أن زاوية الطور بينهما تساوي 90^o كما بالرسم التالي:



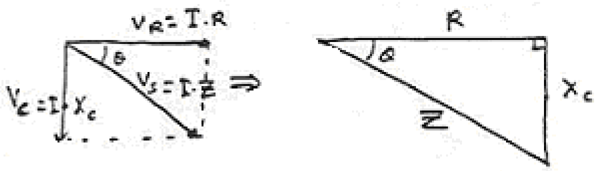
شكل (3- 14) زاوية الطور في دائرة المقاومة والمكثف على التوالي

وباعتبار أن هنالك فارق طور بين V_R و V_C فإن متجه جهد المصدر يساوي محصلة المتجهين $V_C + V_R$

3- 7- 2 المعاوقة Impedance Z

المعاوقة تمثل ممانعة الدائرة لمرور التيار الكهربائي، حيث إن المعاوقة بالنسبة لدائرة تحتوي على مقاومات تساوي المقاومة الإجمالية (الكلية) للدائرة R_T ، أما بالنسبة لدائرة سعوية (تحتوي على مكثفات فإن المعاوقة تساوي المفاعلة السعوية الإجمالية X_{C_T} ، وبالتالي فإن المعاوقة الكلية لدائرة تحتوي على مقاومة ومكثف يرمز لها بالرمز Z ووحدتها Ohm.

ويمكن تمثيل المعاوقة لدائرة مقاومة ومكثف على التوالي Series R – C بالمثلث التالي :



شكل (3- 15) المعاوقة لدائرة تحتوي على مقاومة ومكثف على التوالي

وعند استخدام قانون فيثاغوريس Pythagoras نحصل على:

$$Z^2 = R^2 + X_C{}^2 \qquad (3-\ 15)$$

وبالتالي فإن معاوقة دائرة RC على التوالي تكون:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^{\ 2}} \qquad (3-\ 16)$$

3- 7- 3 زاوية الطور θ Phase Angle

زاوية الطور هي فارق الطور بين جهد المصدر والتيار المسحوب من هذا المصدر. كما يمكن تمثيل وكتابة θ في دوائر المقاومة والمكثف على التوالي بدلالة الجهود أو بدلالة المقاومة والمفاعلة السعوية كما يلي:



شكل (3- 16) زاوية الطور في دوائر المقاومة والمكثف على التوالي

وبالتالي يكون ظل الزاوية θ (أي $\tan\theta$) يساوي طول الضلع المقابل للزاوية θ مقسوما على طول الضلع المجاور، كما يلي:

$$\tan\theta = \frac{V_C}{V_R} \Rightarrow \theta = \tan^{-1}\left(\frac{V_C}{V_R}\right) \qquad (3-\ 17-\ أ)$$

أو

$$\tan\theta = \frac{X_C}{R} \Rightarrow \theta = \tan^{-1}\left(\frac{X_C}{R}\right) \qquad (3-\ 17-\ ب)$$

حيث إن الدالة $(\tan^{-1})$ تمثل الدالة العكسية لدالة الظل $(\tan)$

أما المعادلة $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{V_C}{V_R}\right)$ فتعني الزاوية التي يكون ظلها $\frac{V_C}{V_R}$.

وباستخدام قانون فيثاغورس Pythagoras نحصل على:

$$V_S^{\ 2} = V_R^{\ 2} + V_C^{\ 2} \qquad (3-\ 18)$$

ومن هذه العلاقة يمكن استنتاج الجهود:

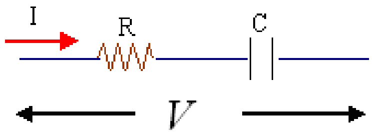
$$V_S = \sqrt{V_R^{\ 2} + V_C^{\ 2}} \qquad (3-\ 19)$$

$$V_R = \sqrt{V_S^{\ 2} - V_C^{\ 2}} \qquad (3-\ 20)$$

$$V_C = \sqrt{V_S^{\ 2} - V_R^{\ 2}} \qquad (3-\ 21)$$

3- 7- 4 قانون أوم لدوائر المقاومة والمكثف توالي Ohm's Law

عند توصيل مقاومة ومكثف على التوالي، فإنه يمكن تطبيق قانون أوم عليها، كما بالشكل التالي:



شكل (3- 17) قانون أوم في دوائر RC على التوالي

ولتطبيق قانون أوم في الدائرة لحساب قيمة كل من الجهد على المقاومة V_R نستخدم العلاقة التالية:

$$V_R = I.R \qquad (3-22)$$

أما عند إيجاد قيمة الجهد على المكثف V_C، فنحتاج لإيجاد قيمة المفاعلة السعوية X_C أولاً، ثم بعد ذلك يمكن استخدام العلاقة التالية وذلك لإيجاد قيمة V_C:

$$V_C = I.X_C \qquad (3-23)$$

أما إذا كان المطلوب إيجاد قيمة الجهد على كل من المقاومة والمكثف V (انظر الشكل)، عندها يجب إيجاد قيمة المعاوقة Z لدائرة RC ومن ثم التعويض في العلاقة التالية:

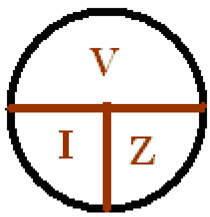
$$V = I.Z \qquad (3-24)$$

ومنها يمكن استنتاج العلاقات التالية:

$$I = \frac{V}{Z} \qquad (3-25)$$

$$Z = \frac{V}{I} \qquad (3-26)$$

وبالتالي، يمكن اختصار جميع العلاقات السابقة كما بالشكل التالي:



شكل (3- 18) الرسم المكافئ لقوانين أوم

3- 7- 5 تأثير التردد على قيم عناصر دائرة المقاومة والمكثف **Frequency Effect on** RC

إن لتغيير التردد في دوائر المقاومة والمكثف تأثيراً على المعاوقة، وزاوية الطور، والجهد، والتيار. ويمكن إيضاح تأثير تغير قيمة التردد لمصدر الجهد الموصل بدائرة تحتوي على مقاومة ومكثف على التوالي بدراسة الحالات التالية:

1. إن الزيادة في التردد F تؤدي إلى انخفاض المفاعلة السعوية X_C، حيث إن $\left(X_C = \frac{1}{2\pi FC}\right)$. وبالتالي:

⇐ المعاوقة تنقص: $\left(Z=\sqrt{R^2+X_C{}^2}\right)$

⇐التيار يتزايد: $I=\dfrac{V}{Z}$ (التجربة تنفذ في المعمل).

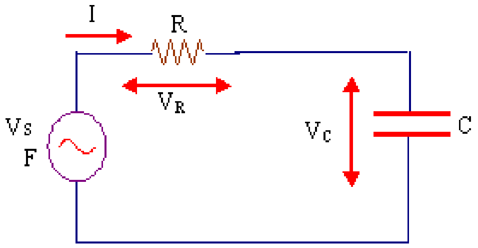
⇐ جهد المقاومة V_R يزيد

⇐ جهد المكثف V_C ينخفض $\left(V_S{}^2=V_R{}^2+V_C{}^2\right)$.

2. انخفاض $F \Leftarrow \uparrow X_C \Leftarrow \uparrow Z$ وبالتالي $I \downarrow \Leftarrow V_R \downarrow V_C \uparrow$

مثال (3- 4):

إذا كانت $R=2.2k\Omega, C=0.02\mu F, I_{rms}=0.2mA, f=1.5kHz$ ، في الدائرة التالية:



شكل (3- 19) الدائرة الكهربائية لمثال (3- 4)

أوجد قيمة المفاعلة السعوية للمكثف X_C

$$X_C=\frac{1}{2nf.c}=\frac{1}{2n*1.5*10^{-3}*0.02*10^{-3}}=5.3k\Omega$$

أ. أوجد قيمة المعاوقة Z

$$Z=\sqrt{R^2+X_C{}^2}=5.73k\Omega$$

ب. أوجد جهد المقاومة V_R

$$V_R=I.R=0.2*10^{-3}*2.2*10^3=0.44V$$

ت. أوجد جهد المكثف V_C

$$V_{C_{rms}}=I_{r_{rms}}X_C=0.2*10^{-3}*5.3*10^{-3}=1.06V$$

ث. أوجد جهد المصدر V_S

(a) $$V_{S_{rms}}=\sqrt{V_{R(rms)}^2+V_{C(rms)}^2}=\sqrt{0.44^2+1.06^2}=1.15V$$

Or,

(b) $$V_{S_{rms}}=I_{rms}*Z=0.2*10^{-3}*5.73*10^3=1.15V$$

ج. أوجد قيمة زاوية الطور θ

(a) $$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{V_C}{V_R}\right) = 67.45^o$$

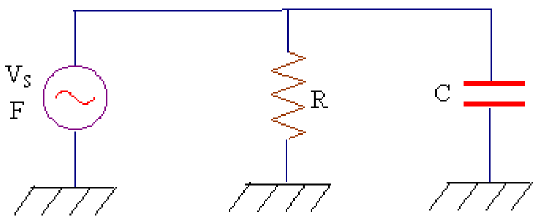
Or,

(b) $$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{X_C}{R}\right) = 67.45^o$$

3- 8 دوائر المقاومة والمكثف على التوازي Parallel RC Circuits

3- 8- 1 خواص دوائر المقاومة والمكثف على التوازي Characteristics of RC Circuits

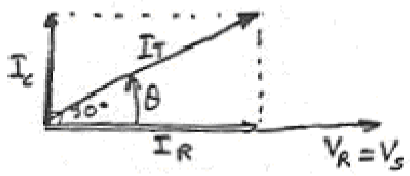
في دوائر المقاومة والمكثف على التوازي، توصل المقاومة مع المكثف كما في الشكل التالي:



شكل (3- 20) دائرة المقاومة والمكثف على التوازي

ملحوظات:

- $V_C = V_R = V_S$
- I_R و V_R لهما نفس الطور
- I_C يتقدم على V_C بزاوية مقدارها 90^o، وبالتالي ⇐ I_C يتقدم على I_R بزاوية طور قدرها 90^o.
- الفرق بين دوائر التوالي والتوازي هو أن زوايا الطور بالنسبة لدائرة RC على التوالي تكون بين الجهود أما بالنسبة لدائرة RC على التوازي فنجدها بين التيارات.

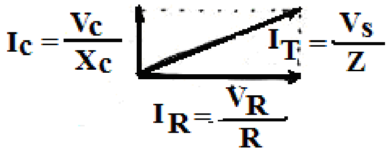


شكل (3- 21) زاوية الطور بين التيارات في دائرة RC على التوازي

في الرسم أعلاه نجد أن I_C يتقدم على I_R بزاوية مقدارها 90^o. أيضا يمكن ملاحظة أن I_R، وبالتالي V_R يتأخران عن I_T بزاوية طور مقدارها θ، وذلك لأن I_R و V_R لهما نفس زاوية الطور، وهذا يدل على أن تيار المصدر I_T يتقدم على جهد المصدر بزاوية طور Phase Angle تساوي θ.

3- 8- 2 المعاوقة Z Impedance

كما ذكر سابقا، المعاوقة تمثل ممانعة الدائرة لمرور التيار الكهربائي، حيث إن المعاوقة بالنسبة لدائرة تحتوي على مقاومة ومكثف على التوازي يرمز لها بالرمز Z ووحدتها Ohm. والشكل التالي، يوضح علاقات التيار في دائرة المقاومة والمكثف على التوازي:

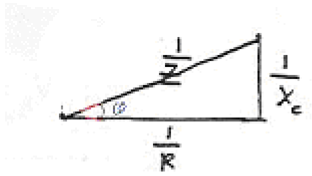


شكل (3- 22) علاقات التيار في دائرة RC على التوازي

حيث إن:

$$I_C = \frac{V_C}{X_C}$$

كما يمكن تمثيل المعاوقة لدائرة مقاومة ومكثف على التوازي Parallel R – C، وبالتالي فإنه يمكن استنتاج مثلث القبولية Admittance triangle كما يلي:



شكل (3- 23) علاقات القبولية في دائرة RC على التوازي

ملحوظة:

القبولية admittance هي معكوس المقاومة، المفاعلة، المعاوقة بحيث تساوي $\frac{1}{R}$ ، $\frac{1}{X_C}$ ، $\frac{1}{Z}$ ، كما في الشكل السابق.

من مثلث القبولية وبتطبيق قانون فيثاغورس يمكن استنتاج قانون المعاوقة كما يلي:

$$\frac{1}{Z^2} = \frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_C^{\,2}} \qquad (3\text{- }27)$$

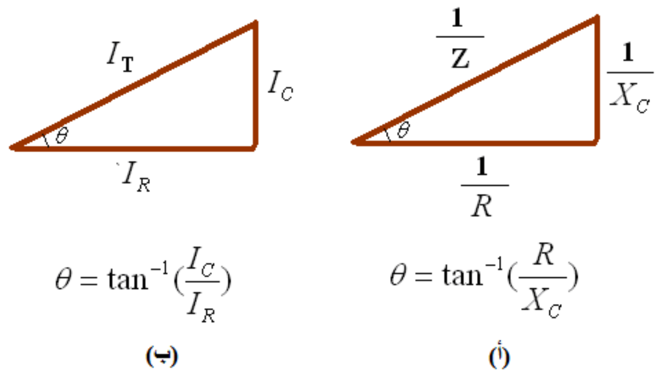
$$\frac{1}{Z^2} = \frac{X_C^{\,2} + R^2}{R^2 * X_C^{\,2}} \qquad (3\text{- }28)$$

وبالتالي:

$$Z^2 = \frac{R^2 * X_C^{\,2}}{R^2 + X_C^{\,2}} \Rightarrow Z = \frac{R * X_C}{\sqrt{R^2 + X_C^{\,2}}} \qquad (3\text{- }29)$$

3- 8- 3 زاوية الطور θ Phase Angle

يمكن تمثيل وكتابة θ في دوائر المقاومة والمكثف على التوازي بدلالة التيارات أو بدلالة المقاومة والمفاعلة السعوية كما يلي:



شكل (3- 24) زاوية الطور في دوائر RC على التوازي

ويكون ظل الزاوية θ (أي $\tan\theta$) يساوي طول الضلع المقابل للزاوية θ مقسوما على طول الضلع المجاور، كما يلي:

$$\tan\theta = \frac{I_C}{I_R} \qquad (3- 30)$$

حيث إن: الدالة $(\tan^{-1})$ تمثل الدالة العكسية لدالة الظل $(\tan)$

أما المعادلة $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{I_C}{I_R}\right)$ فتعني الزاوية التي يكون ظلها $\frac{I_C}{I_R}$.

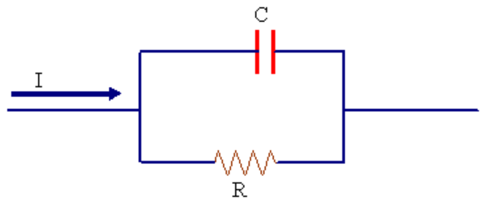
3- 8- 4 العلاقة بين التيارات في دائرة RC على التوازي Currents Relationships

من الشكل (3- 24- ب)، يمكن استخدام قانون فيثاغورس لإيجاد العلاقة بين كل من التيار الكلي I_T وتيار المقاومة I_R والتيار المار في المكثف I_C كما يلي:

$$I_T^2 = I_R^2 + I_C^2 \qquad (3- 31)$$

3- 8- 5 قانون أوم لدوائر المقاومة والمكثف توازي Ohm's Law

عند توصيل مقاومة ومكثف على التوازي، فإنه يمكن تطبيق قانون أوم عليها، كما بالشكل التالي:



شكل (3- 25) قانون أوم في دوائر RC على التوازي

حيث إن:

$$V = I * Z \qquad (3- 32)$$

ومنها يمكن استنتاج العلاقات التالية:

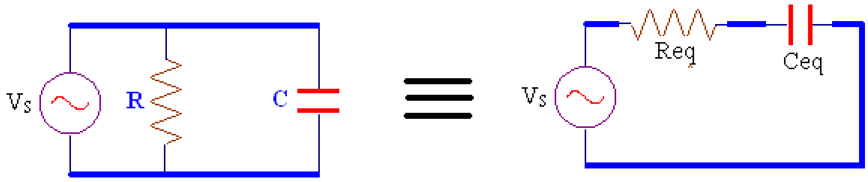
$$I = \frac{V}{Z} \qquad (3- 33)$$

$$Z = \frac{V}{I} \qquad (3- 34)$$

3- 8- 6 التحويل من دوائر RC توازي إلى RC توالي :

Conversion From Parallel to Series Form

في كثير من الأحيان، نضطر لتحويل دوائر RC موصلة على التوازي إلى دوائر RC موصلة على التوالي، حيث إن كل دائرة RC على التوازي لها دائرة RC مكافئة على التوالي، هذا التكافؤ من حيث المعاوقة وزاوية الطور، وذلك بالنسبة لتردد معين حيث إنه يمكن تحويل دائرة RC توازي إلى دائرة RC توالي وذلك بإيجاد الدائرة المكافئة كما يلي:



شكل (3- 26) الدائرة المكافئة لدائرة RC على التوازي

ملحوظة:

الدائرتان لهما نفس المعاوقة ونفس زاوية الطور حيث تحسب قيم R_{eq} و X_{ceq} و C_{eq} كما يلي:

$$R_{eq} = Z.\cos\theta \qquad (3- 38)$$

$$x_{ceq} = Z.\sin\theta \qquad (3- 39)$$

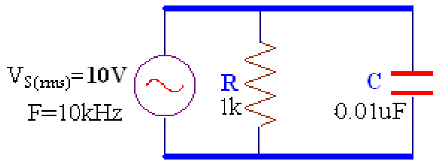
$$\Rightarrow C_{eq} = \frac{1}{2\pi f Z.\sin\theta} \qquad (3- 40)$$

حيث إن:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{R}{X_C}\right)$$

مثال (3- 5):

في الدائرة التالية:



شكل (3- 27) الدائرة الكهربائية لمثال (3- 5)

أ. أوجد قيمة المفاعلة السعوية X_C

$$X_C = \frac{1}{2\pi . f . C} = 1.6k\Omega$$

ب. أوجد قيمة المعاوقة Z

$$Z = \frac{R.X_C}{\sqrt{R^2 + X_C{}^2}} = 843.5\Omega$$

ت. أوجد قيمة التيار الذي يعبر المقاومة I_R

$$I_{R(rms)} = \frac{V_{S(rms)}}{R} = 10mA$$

ث. أوجد قيمة التيار الذي يعبر المكثف I_C

$$I_{C(rms)} = \frac{V_{S(rms)}}{X_C} = 6.25mA$$

ج. أوجد التيار الكلي I_T

$$(a) I_{T(rms)} = \sqrt{I_{R(rms)}^2 + I_{C(rms)}^2} = 11.8mA$$

$$(b) I_{Trms} = \frac{V_{S(rms)}}{Z} = \frac{10}{843.5} = 11.8mA$$

ح. أوجد زاوية الطور θ

$$(a) \theta = \tan^{-1}\left(\frac{R}{X_C}\right) = 32^0$$

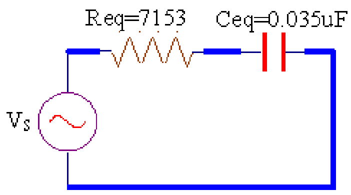
$$(b) \theta = \tan^{-1}\left(\frac{I_{C(rms)}}{I_{R(rms)}}\right) = 32^0$$

خ. أوجد الدائرة RC على التوالي المكافئة لدائرة التوازي

$$R_{eq} = Z.\cos\theta = 843.5 * \cos 32^o = 715.3\Omega$$

$$X_{Ceq} = Z.\sin\theta = 843.5 * \sin 32^{o} = 452.3\Omega$$

$$\Rightarrow C_{eq} = \frac{1}{2\pi f * X_{Ceq}} = 0.035\mu F$$



ملخص Summary للعلاقات المستخدمة في دوائر المقاومة والمكثف:

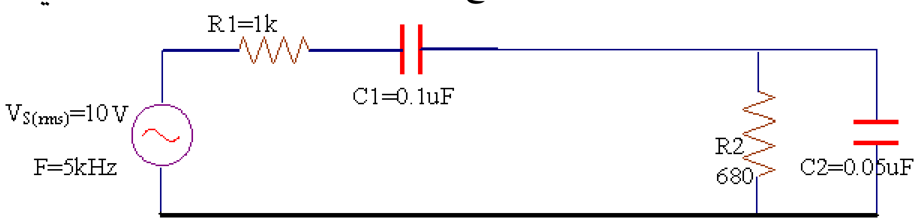
دائرة RC على التوالي	دائرة RC على التوازي
الجهد يتجزأ $V_S = \sqrt{V_R^2 + V_C^2}$	التيار يتجزأ $I_T = \sqrt{I_R^2 + I_C^2}$
المعاوقة $Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$	المعاوقة $Z = \frac{R.X_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$
زاوية الطور $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{X_C}{R}\right)$ $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{V_C}{V_R}\right)$	زاوية الطور $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{R}{X_C}\right)$ $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{I_C}{I_R}\right)$

3-9 التوصيل المشترك (توالي - توازي) لدوائر المقاومة والمكثف Series-Parallel RC Circuits

سيتم شرح هذا النوع من التوصيل عن طريق بعض التطبيقات والأمثلة.

مثال (3-6):

في دائرة التوصيل المشترك لدوائر المقاومة مع المكثف كما في الشكل التالي:



شكل (3-28) الدائرة الكهربائية لمثال (3-6)

1) أوجد المعاوقة الإجمالية .
2) أوجد التيار الإجمالي
3) أوجد زاوية الطور θ بين الجهد V_S والتيار I

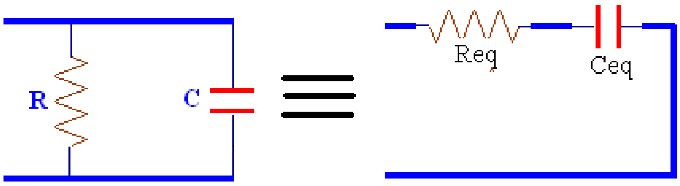
الحل:

أولا : نوجد المفاعلات السعوية للمكثفين:

$$X_{C1} = \frac{1}{2\pi f.C_1} = 318\Omega$$

$$X_{C2} = \frac{1}{2\pi f.C_2} = 637\Omega$$

ثانيا: نوجد الدائرة RC على التوالي المكافئة للجزء الثاني (RC على التوازي) للدائرة:



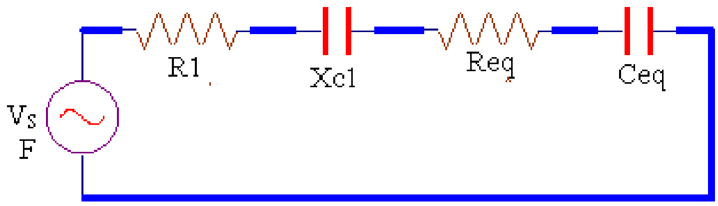
معاوقة الجزء الثاني: $Z_2 = \frac{R_2 * C_2}{\sqrt{{R_2}^2 + {X_{C_2}}^2}} = 465\Omega$

زاوية طور الجزء الثاني: $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{R_2}{X_{C2}}\right) = 46.9^o$

المقاومة المكافئة: $\Rightarrow R_{eq} = Z_2 \cos\theta = 318\Omega$

المفاعلة السعوية المكافئة: $X_{C_{eq}} = Z_2 \sin\theta = 340\Omega$

نعوض الجزء الثاني من الدائرة بالدائرة المكافئة، كما يلي:



شكل (3- 29) تعويض الدائرة المكافئة

وبالتالي نحصل على دائرة مكونة من مقاومتين ومكثفين على التوالي.

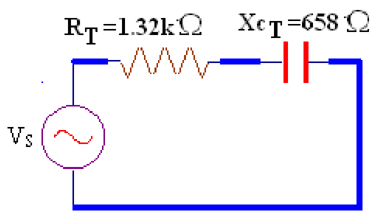
ملحوظة:

المقاومات والمفاعلات لاتجمع، لكن يمكننا جمع المقاومات مع بعض والمفاعلات مع بعض.

إذن نوجد المقاومة الإجمالية: $R_T = R_1 + R_{eq} = 1.32k\Omega$

ثم نوجد المفاعلة الإجمالية: $X_{C_T} = X_{C_1} + X_{Ceq} = 658\Omega$

وبالتالي تكون الدائرة:



شكل (3- 30) الدائرة الكهربائية المكافئة

ملحوظة:

كل دائرة توالي- توازي يمكن أن تحول إلى دائرة RC على التوالي وبالتالي يسهل تحليلها.

إذن قيمة المعاوقة الإجمالية Z_T تكون: $Z_T = \sqrt{R_T^{\,2} + X_{C_T}^{\,2}} = 1.47k\Omega$

أ. من قانون أوم، يمكن إيجاد قيمة التيار الكلي I_T كما يلي:

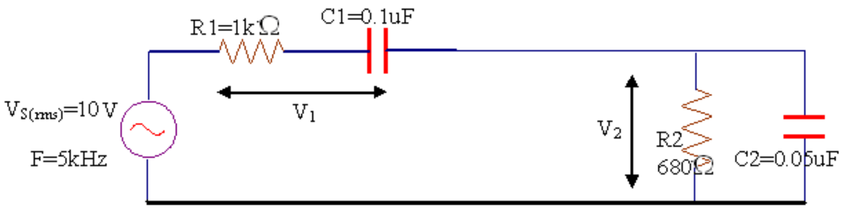
$$I_{rms} = \frac{V_{Srms}}{Z_T} = \frac{10V}{1.47k\Omega} = 6.8mA$$

ب. زاوية الطور θ

$$\theta = \tan^{-1}\frac{X_{CT}}{R_T} = 26.50^o$$

مثال (3- 7):

في دائرة المثال السابق:



شكل (3- 31) الدائرة الكهربائية لمثال (3- 7)

أ. أوجد الجهد عبر R_1 و C_1 معا أي عبر Z_1

من المثال السابق $I_{rms} = 6.8mA$

$$V_{1rms} = I_{rms} * Z_1$$

$$Z_1 = \sqrt{R_1^{\,2} + X_{C_1}^{\,2}} = 1050\Omega$$

$$\Rightarrow V_{1rms} = (6.8mA) * (1.05k\Omega) = 7.13V$$

ب. أوجد الجهد V_2 عبر المعاوقة Z_2:

$$V_{2_{rms}} = I_{rms} * Z_2 = (6.8mA) * (465\Omega) = 3.16V$$

ج . أوجد جهد المقاومة R_1 وجهد المكثف C_1

$$V_{R_{rms}} = I_{rms} * R_1 = 6.8V$$

$$V_{C_{rms}} = I_{rms} * X_{C_1} = 2.16V$$

د. أوجد قيمة التيار المار في R_2 والتيار المار خلال C_2

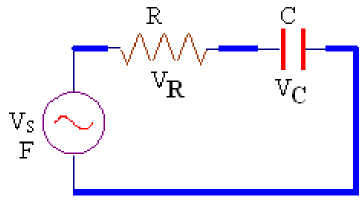
$$I_{R2} = \frac{V_2}{R_2} = \frac{3.16}{680} = 4.64mA$$

$$I_{C2} = \frac{V_2}{X_{C_2}} = \frac{3.16}{340} = 4.9mA$$

3- 10 القدرة في دوائر المقاومة والمكثف Power in RC Circuits

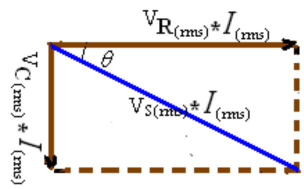
3- 10- 1 مثلث القدرة Power Triangle

كما ذكرنا سابقا، فإن كل دائرة RC توازي يمكن تحويلها إلى دائرة RC على التوالي، حيث يعتبر هذا النوع الأسهل عند تحليل الدوائر الكهربائية ودراستها. وعلى هذا سيتم تحويل أية دائرة RC على التوازي إلى دائرة RC على التوالي، كما بالشكل التالي:



شكل (3- 32) دائرة RC على التوالي

كما لاحظنا في الجزء الخاص بدائرة المقاومة والمكثف على التوالي فإنه يمكن الحصول على مثلث القدرة وذلك بضرب كل ضلع بالقيمة الفعالة للتيار I_{rms} كما يلي:



شكل (3- 33) علاقات الجهود بعد ضربها في قيمة التيار

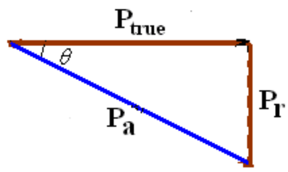
حيث أن:

$I_{rms} \times V_{R_{rms}}$ هي القدرة الحقيقية التي تبددها المقاومة.

$I_{rms} \times V_{C_{rms}}$ هي القدرة المفاعلة للمكثف.

$I_{rms} \times V_{S_{rms}}$ تسمى القدرة الظاهرية Apparent Power.

مثلث القدرة، موضح بالشكل التالي:



شكل (3- 34) مثلث القدرة في دوائر RC على التوالي

3- 10- 2 علاقات القدرة ووحدات قياسها Power Relationships and Measurement Units

القدرة الظاهرية Apparent Power وتقاس بالفولت أمبير $Vott - Ampere \ (VA)$:

$$P_a = V_{Srms} * I_{rms} = \frac{V_{Srms}^2}{Z} = I_{rms}^2 * Z \qquad (3-41)$$

القدرة الحقيقية True Power وتقاس بالوات $Watt \ (W)$:

$$P_{true} = P_a . \cos\theta \qquad (3-42)$$

القدرة المفاعلة Reactive Power ووحدة قياسها $Volt - Ampere - Reactive \ (VAR)$:

$$P_r = P_a . \sin\theta \qquad (3-43)$$

3- 10- 3 مدلول القدرة الظاهرية The Significance of apparent Power

القدرة الظاهرية Apparent Power كمية مركبة من قدرة حقيقية وأخرى مفاعلة (مركبة)، وهذه القدرة الظاهرية هي القدرة المنقولة من المصدر إلى الجهاز أو الدائرة. أما القدرة الحقيقية فهي التي تستهلك وهي التي تمكن من القيام بالشغل المطلوب، وأما القدرة المفاعلة فتعود إلى المصدر.

أحسن الحالات أن تكون كل القدرة الظاهرية (المنتقلة إلى الجهاز) قدرة حقيقية وفعالة تستهلك في شكل شغل مبذول، ومعنى ذلك أن تكون القدرة الظاهرية خالية من القدرة المفاعلة. ولكن في الواقع كل جهاز له مفاعلة معينة وبالتالي قدرة مفاعلة.

ملحوظة:

النسبة بين القدرة الحقيقية الفعالة التي تنجز الشغل والقدرة الظاهرية المنقولة من المصدر إلى الحمل أو الجهاز، تسمى معامل القدرة $PF : the Power Factor$

3- 10- 4 معامل القدرة The Power Factor (PF)

سيتم هنا شرح طريقة حساب معامل القدرة Power Factor، لدوائر المقاومة والمكثف، حيث يرمز لهذا المعامل بالرمز PF، والذي يكتسب أهميته عند الرغبة في حساب القدرة المستهلكة في الدائرة. ويمكن إيجاد قيمة هذا المعامل باستخدام العلاقات التالية:

$$PF = \frac{P_{true}}{P_a} = \cos\theta \qquad (3\text{-}44)$$

وبالتالي:

$$PF = \cos\theta \qquad (3\text{-}45)$$

حيث إن θ : هي زاوية طور الدائرة، أي فارق الطور بين جهد المصدر والتيار الكلي.

وبالتالي فإنه، إذا زادت زاوية الطور θ فإن ذلك يؤدي إلى انخفاض معامل القدرة، ومن ثم يمكن القول أن ذلك يدل على انخفاض القدرة المبددة وزيادة القدرة المفاعلة. ويمكن دراسة معامل القدرة لعدد من الدوائر كما في الحالات التالية:

أولا: بالنسبة لدائرة مقاومة فقط

في دائرة المقاومة، تكون قيمة زاوية الطور تساوي صفراً، أي إن $\theta = 0^o$.

ملحوظة:

$$\cos(0^o) = 1 \quad ، \quad \sin(0^o) = 0$$

وبالتالي فإن ذلك يؤدي إلى:

$$P_{true} = P_a = V_{S(rms)} * I_{rms}$$

$$P_r = 0$$

ومن ثم، فإن:

$$PF = 1$$

ثانيا: بالنسبة لدائرة سعوية فقط

في الدائرة السعوية، تكون قيمة زاوية الطور تساوي 90 درجة، أي إن $\theta = 90^o$.

ملحوظة

$$\cos(90^o) = 0 \quad ، \quad \sin(90^o) = 1$$

وبالتالي فإن ذلك يؤدي إلى:

$$P_{true} = 0$$

$$P_r = P_a = V_{S(rms)} * I_{rms}$$

ومن ثم، فإن:

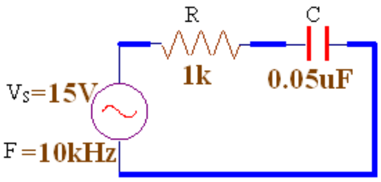
$$PF = 0$$

ثالثا: بالنسبة لدائرة مقاومة ومكثف RC

في هذه الدائرة، تكون قيمة معامل القدرة تتراوح بين صفر وواحد، أي إن $0 < PF < 1$. وكلما اقتربت قيمة معامل القدرة من الواحد كان أفضل.

مثال (3- 8):

في الدائرة التالية، أوجد القدرة الحقيقية والقدرة الظاهرية ومعامل القدرة؟



شكل (3- 35) الدائرة الكهربائية لمثال (3- 8)

الحل:

$$X_C = \frac{1}{2\pi F.C} = 3.18k\Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = 3.33\ k\Omega$$

$$P_a = \frac{V_{srms}^2}{Z} = 67.5 * 10^{-3} VA = 67.5mVA$$

زاوية الطور: $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{X_C}{R}\right) = 72.5^o$

القدرة الحقيقية: $P_{true} = P_a.\cos\theta = 20.3mW$

معامل القدرة: $PF = \cos\theta = 0.301$

الخلاصة Summary

1. بالنسبة للمقاومات يكون الجهد المطبق على المقاومة والتيار المار عبرها متطابقا الطور، أي إن .((V_R and I_R)are in Phase)
2. أما بالنسبة للمكثفات، فإن التيار الذي يمر خلال المكثف يتقدم Leads على جهد المكثف بفارق طور يساوي 90^o ، (شكل (13 – 6))
3. القدرة اللحظية هي مقدار القدرة المبددة (المفقودة) في لحظة معينة وهو يساوي حاصل ضرب مقدار الجهد في تلك اللحظة في مقدار التيار في اللحظة نفسها.
4. المكثف المثالي لايستهلك الطاقة وإنما يخزنها ويعيدها بأكملها إلى المصدر. كما أن القدرة الحقيقية لمكثف مثالي دائما يتم الحصول عليها كما في العلاقة التالية:

$$P_{true} = 0$$

5. إن القدرة المفاعلة تمثل معدل سرعة شحن الطاقة أو عودتها إلى المصدر، ويمكن إيجاد قيمتها باستخدام صيغة القدرة المفاعلة كما يلي:

$$P_r = V_{rms} * I_{rms}$$

6. السعة الكلية لمكثفات موصلة على التوالي المكثفات كما يلي:

$$C_T = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots \frac{1}{C_N}}$$

وبالتالي، فإن:

$$X_{C_T} = X_{C_1} + X_{C_2} + X_{C_N}$$

7. السعة الكلية لمكثفات موصلة على التوازي كما يلي:

$$C_T = C_1 + C_2 + \cdots + C_N$$

وبالتالي، فإن:

$$X_{C_T} = \frac{1}{\frac{1}{X_{C_1}} + \frac{1}{X_{C_2}} + \dots \frac{1}{X_{C_N}}}$$

8. في دوائر المقاومة والمكثف توالي، يكون:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C{}^2}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{V_C}{V_R}\right)$$

$$V_S = \sqrt{{V_R}^2 + {V_C}^2}$$

9. في دوائر المقاومة والمكثف على التوازي، يكون:

$$Z = \frac{R*C}{\sqrt{R^2 + {X_C}^2}}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{I_C}{I_R}\right)$$

$$I_T = \sqrt{{I_R}^2 + {I_C}^2}$$

10. يمكن تحويل دائرة RC توازي إلى دائرة RC توالي وذلك بإيجاد الدائرة المكافئة كما يلي:

$$R_{eq} = Z.\cos\theta$$

$$x_{ceq} = Z.\sin\theta$$

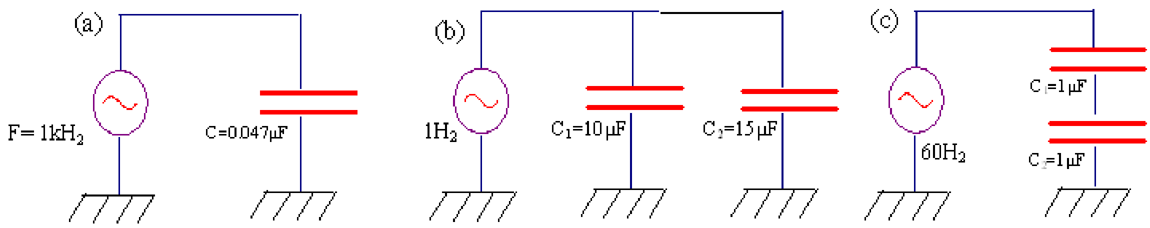
$$\Rightarrow C_{eq} = \frac{1}{2\pi f Z.\sin\theta}$$

11. ملخص Summary للعلاقات المستخدمة في دوائر المقاومة والمكثف

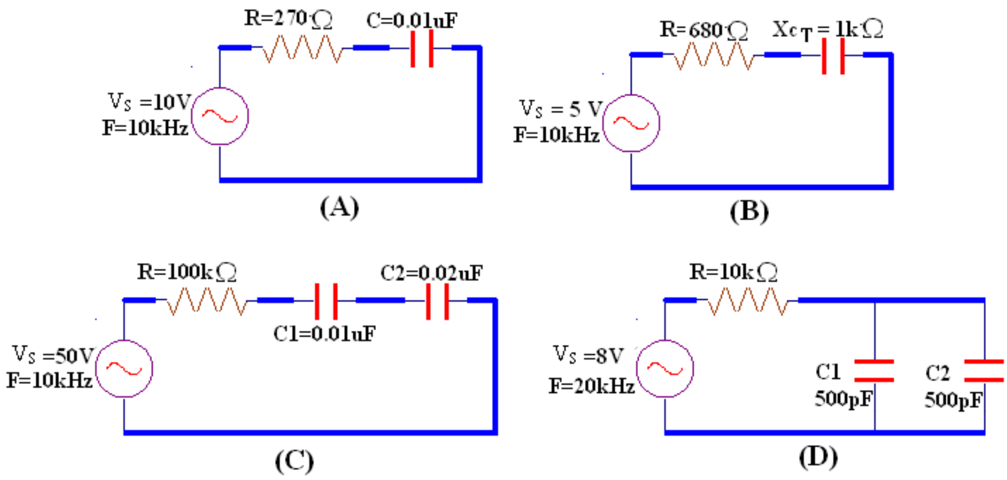
دائرة RC على التوالي	دائرة RC على التوازي
الجهد يتجزأ $V_S = \sqrt{{V_R}^2 + {V_C}^2}$	التيار يتجزأ $I_T = \sqrt{{I_R}^2 + {I_C}^2}$
المعاوقة $Z = \sqrt{R^2 + {X_C}^2}$	المعاوقة $Z = \frac{R.X_C}{\sqrt{R^2 + {X_C}^2}}$
زاوية الطور $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{X_C}{R}\right)$ ، $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{V_C}{V_R}\right)$	زاوية الطور $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{R}{X_C}\right)$ ، $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{I_C}{I_R}\right)$

تدريبات على الوحدة الثالثة

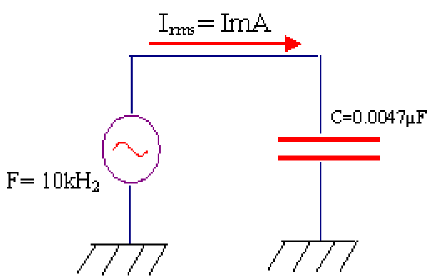
1. أوجد المفاعلة الإجمالية في الحالات الثلاث التالية:



2. أوجد المعاوقة وزاوية الطور لكل دائرة من الدوائر التالية:

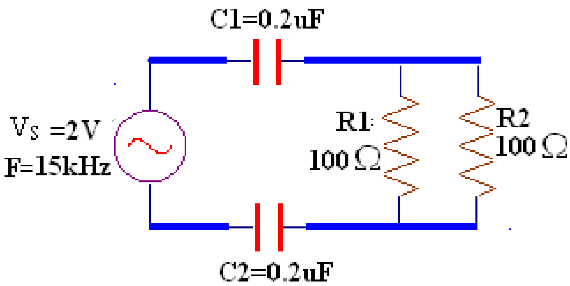


3. في الدائره التالية:

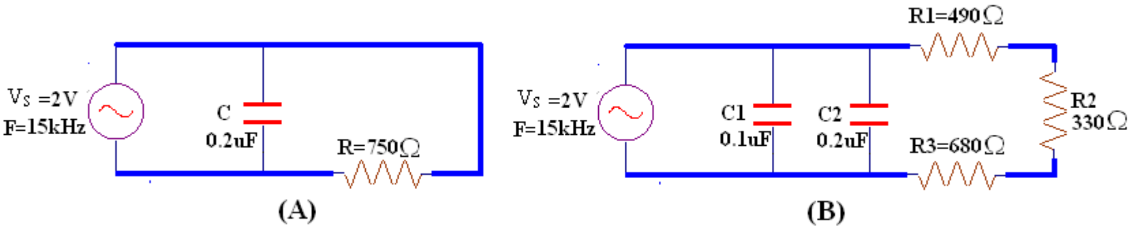


- أوجد القيمة الفعلية لجهد المصدر .
- ما مقدار القدرة الحقيقية التي يبددها المكثف ؟
- ما مقدار القدرة المفاعلة للمكثف ؟

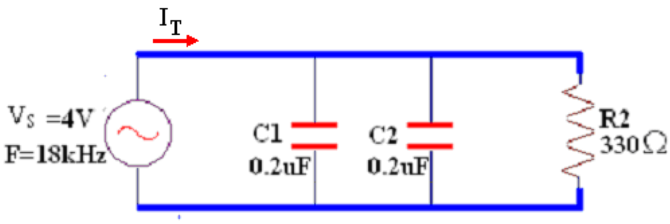
4. أوجد القيمة الفعالة للتيار I_{Trms} والقيمة المتوسطة للتيار I_{Tavg} ، للدائرة التالية:



5. أوجد المعاوقة وزاوية الطور لكل دائرة مما يلي:



6. في الدائرة التالية :



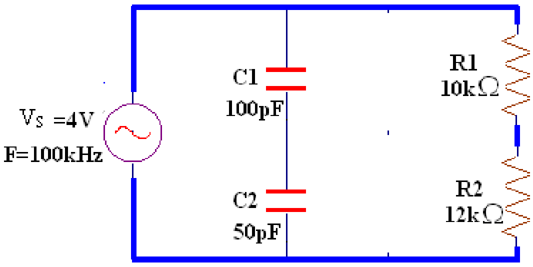
1°) أوجد التيار الكلي I_T

2°) أوجد التيار الذي يعبر المكثف C_1 : I_{C_1}

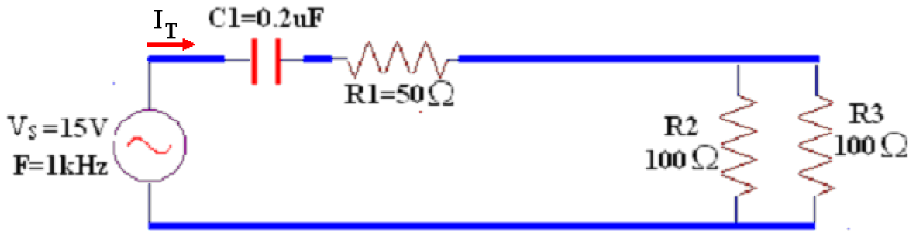
3°) أوجد التيار الذي يعبر المكثف C_2 : I_{C_2}

4°) أوجد التيار الذي يعبر المقاومة R : I_R

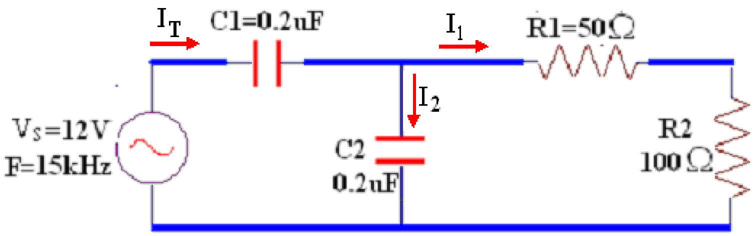
7. حول الدائرة التالية إلى دائرة RC على التوالي:


Vs =4V
F=100kHz
C1
100pF
C2
50pF
R1
10kΩ
R2
12kΩ

8. أوجد $V_{R_2}, V_{R_1}, \theta, I_T, V_C, V_{R_3}$



9. أوجد I_T التيار الكلي، ثم أوجد I_2, I_1 عبر كل فرع من فروع الدائرة التالية:



أيضا، أوجد المعاوقة الإجمالية وزاوية الطور للدائرة أعلاه؟

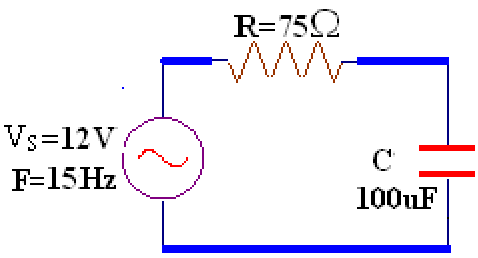
10. في دائرة RC:

القدرة الحقيقية $TruePower$: $P_{true} = 2W$

القدرة المفاعلة $ReactivePower$: $P_r = 3.5V.A.R$

أوجد مقدار القدرة الظاهرية P_r $ApperentPower$.

11. أوجد القدرة الحقيقية ، والقدرة المفاعلة والقدرة الظاهرية، ومعامل القدرة Power Factor ، وذلك للدائرة التالية:



دوائر كهربائية-2

دوائر المقاومة والملف

الوحدة الرابعة

دوائر المقاومة والملف

الجدارة: القدرة على التعرف على دوائر المقاومة والملف.

الأهداف: عندما تكتمل هذه الوحدة تكون لدى المدرب القدرة على أن :-
يتعرف على دوائر المقاومة والملف.

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل المتدرب إلى إتقان الجدارة بنسبة 90٪

الوقت المتوقع للتدرب على الجدارة: 9 ساعات

الوسائل المساعدة :

- سبورة.
- جهاز عرض بروجكتور باستخدام الحاسب.

متطلبات الجدارة : أن يكون المتدرب قادرا على التعرف وتمييز ما درس سابقا بالإضافة إلى أساسيات الرياضيات في الدوال الهندسية والمتجهات وما ورد في قوانين كيرشوف والملفات.

4- 1 مقدمة Introduction

يعتبر الملف من العناصر الهامة في علم الكهرباء نظرا لكثرة التطبيقات التي يستخدم فيها، حيث إنه في دائرة ذات تيار مستمر يزود بالطاقة شيئا فشيئا باعتبار أن الوظيفة الأساسية للمحث هي معارضة تغير التيار، ولذلك فإن التيار لن يمر في السلك أو المقاومة وإنما سيتكون شيئا فشيئا أي إن التيار الذي يعبر المحث يكون صفرا في البداية ثم يتزايد شيئا فشيئا حتى يبلغ أقصى قيمة له لأن الملف في بداية التشغيل يكون عبارة عن دائرة مفتوحة Open Circuit، أي مقاومة قيمتها مالانهاية، وتقل هذه القيمة مع مرور الزمن.

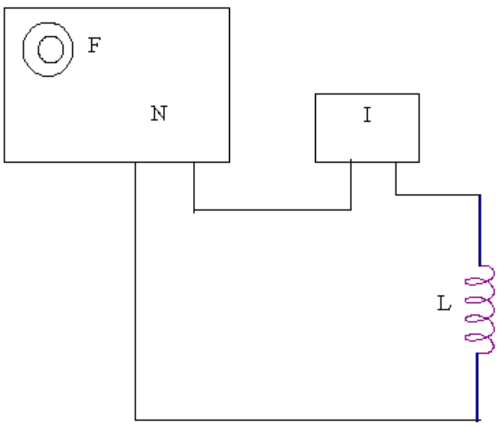
أما في دوائر التيار المتردد، فينبغي الإشارة إلى أن الملف (المحث) يسمح بمرور التيار ولكن مع شيء من الممانعة (ممانعة المحث لعبور التيار المتردد). أما عندما يبلغ التيار أقصى قيمة له يمكن اعتبار المحث كدائرة قصر Short Circuit، حيث يسمح بمرور التيار دون أية ممانعة.

4- 2 المفاعلة الحثية X_L Inductive Reactance

لمعرفة ماهية المفاعلة الحثية X_L ، سنقوم بتنفيذ التجربتين التاليتين:

التجربة الأولى

نقوم بوصل ملف بمصدر للجهد المتردد يمكن التحكم في تردده، ونقوم بقياس التيار الكهربائي الذي يسري في الدائرة، كما بالشكل التالي:



شكل (4- 1) الدائرة الكهربائية للتجربة الأولى

نقوم بتغيير التردد لدراسة تأثير ذلك على ممانعة المحث.

سنلاحظ أنه إذا قمنا بزيادة قيمة التردد F، فإن شدة التيار تقل. لماذا؟ إن الزيادة في التردد تؤدي إلى انخفاض التيار وذلك يقتضي زيادة الممانعة، أما نقصان التردد فيؤدي إلى زيادة في التيار أي انخفاض

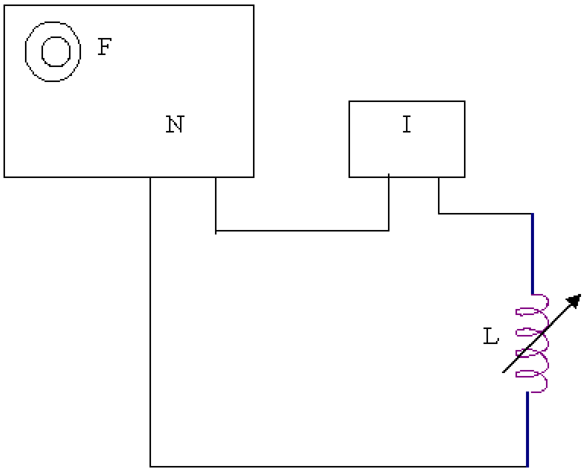
الممانعة. وبالتالي فإنه إذا ازداد تردد الجهد زاد تردد التيار وبالتالي فإن معدل تغير التيار يزيد ، مما يتسبب في زيادة مقدار الجهد المستحث عبر المحث.

ملحوظات:

1. ممانعة المحث أي المفاعلة الحثية X_L تتناسب طرديا مع التردد $X_L \leftrightarrow F$.
2. ممانعة المكثف للتيار المتردد تسمى المفاعلة الحثية X_L Inductive Reactance ، ووحدة قياسها الأوم $Ohm(\Omega)$.

التجربة الثانية

نقوم بوصل ملف متغير بمصدر للجهد المتردد ونقوم بتثبيت هذا الجهد على تردد معين f_0 ثم نقوم بتغيير مقدار المحاثة ، كما بالشكل التالي:



شكل (4- 2) الدائرة الكهربائية للتجربة الثانية

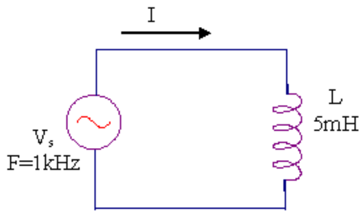
حيث إن قيمة التردد ثابتة f_0 .

وسنلاحظ أن الزيادة في قيمة المحاثة تؤدي إلى انخفاض شدة التيار بالتالي زيادة الممانعة. إن زيادة المحاثة معناه أن مقدار الجهد المستحث الذي يكونه المحث لمعاوقة ازدياد التيار يزيد ، وبالتالي فإن قيمة المعاوقة تزيد وذلك يؤدي إلى انخفاض التيار. أي إن المفاعلة الحثية X_L تتناسب طرديا مع المحاثة. كما سنلاحظ أنه، عند زيادة المحاثة، ستقل شدة التيار، وبالتالي يمكن التوصل إلى صيغة المفاعلة الحثية Inductive Reactance Formula ، وهي كما يلي:

$$X_L = 2\pi F.L \qquad (1\ -4)$$

مثال (4- 1):

في الدائرة التالية:



شكل (4- 3) الدائرة الكهربائية لمثال (4- 1)

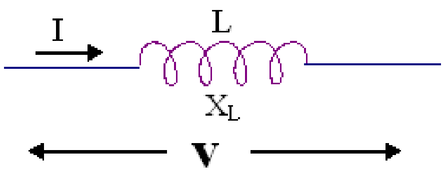
أوجد قيمة المفاعلة الحثية X_L

الحل:

$$X_L = 2\pi F.L = 2\pi * 1 * 10^3 * 5 * 10^{-3} = 31.4\Omega$$

4- 3 قانون أوم في دوائر التيار المتردد التي تحتوي على ملف Ohm's Law in Inductive AC Circuits

لقد وجد أنه بلف سلك من النحاس عدداً من اللفات، نحصل على مايسمى بالملف، فإذا تم توصيل مصدر للجهد بطرفي الملف كما هو مبين بشكل (4- 4)، فإن مجالا مغناطيسيا يتكون حول الملف. وتقاس قيمته بوحدات أمبير/متر Amp/m.



شكل (4- 4) عنصر الملف في الدائرة الكهربائية

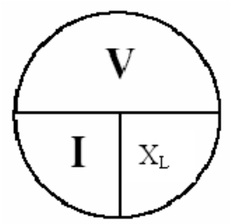
كما أن المفاعلة الحثية بالنسبة لملف تكون مماثلة للمقاومة في الدوائر الكهربائية التي تحتوي على مقاومات، أي إنه يمكن استخدام علاقات قانون أوم مع المفاعلة الحثية. حيث يمكن كتابة قانون أوم بالنسبة للمف، كما يلي:

$$V = I.X_L \qquad (4\text{-}2)$$

$$I = \frac{V}{X_L} \qquad (4\text{-}3)$$

$$X_L = \frac{V}{I} \qquad (4\text{-}4)$$

كما يمكن اختصار هذه العلاقات في الشكل التالي:



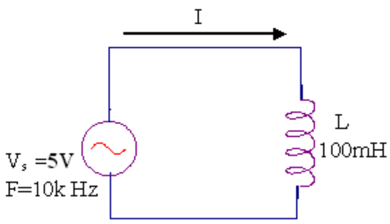
شكل (4- 5) اختصار لعلاقات قانون أوم

ملحوظة:

في دوائر التيار المتردد يجب كتابة الجهد والتيار بنفس الطريقة، سواء *RMS* أو *Peak* أو *Peak – to – Peak*.

مثال (4- 2):

في الدائرة التالية:



شكل (4- 6) الدائرة الكهربائية لمثال (4- 2)

أوجد القيمة المتوسطة للتيار ؟

الحل:

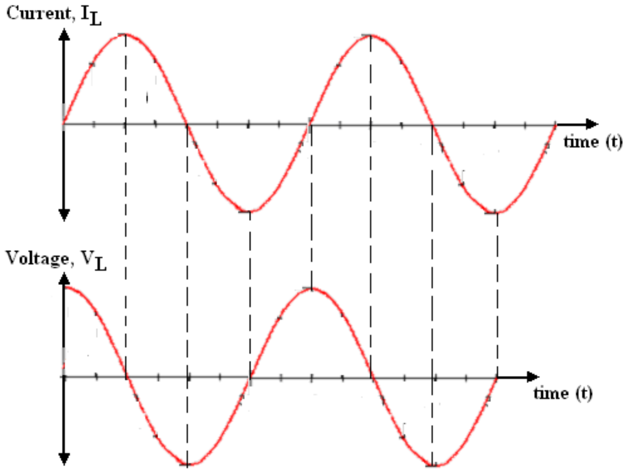
$$X_L = 2\pi F.L = 6.3k\Omega$$

$$I_{rms} = \frac{V_{srms}}{X_L} = 796\mu A$$

$$I_{avg} = 0.9 I_{rms} = 716.4\mu A.$$

4- 4 علاقة التيار والجهد في دوائر الملف Current & Voltage Relationship in Inductive Circuits

رأينا سابقا، أنه بالنسبة للمقاومات يكون الجهد المطبق على المقاومة والتيار المار عبرها لهما نفس الطور، أي إن (V_R and I_R are in Phase). أما بالنسبة للملفات، فإن التيار الذي يمر خلال الملف يتأخر Lags عن جهد الملف بفارق طور يساوي 90^o، والشكل التالي يوضح وجود زاوية الطور (Phase Shift).



شكل (4- 7) التيار يتأخر عن الجهد في الملف

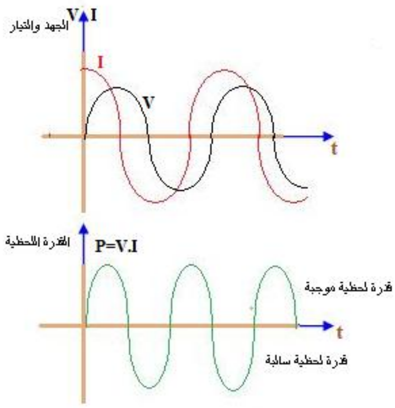
وإن مقدار الجهد يتناسب مع معدل تغير التيار الكهربائي وبالتالي عندما يتغير التيار بسرعة يكون مقدار الجهد عالياً. وبالتالي فإنه عند النقاط التي لايتغير فيها التيار يكون مقدار الجهد صفرا ، مما يؤدي إلى أن التيار يتخلف (يتأخر) عن الجهد بطور قدره 90^0.

4- 5 القدرة في دوائر الملف Power in an Inductor

رأينا سابقا ، أن القدرة في دوائر المقاومة التي تغذى بمصدر تيار مستمر DC تعتمد على العلاقة الرياضية $P = V.I$ ، وذلك لإيجاد قيمة القدرة. أما بالنسبة لقدرة الملف في دوائر التيار المتردد ، فالأمر مختلف قليلا. ولشرح القدرة في دوائر اللف عند تغذيتها بمصدر تيار متردد ، فإنه يمكن تصنيف القدرة في دوائر الملف كالتالي:

4- 5- 1 القدرة اللحظية Instantaneous Power

القدرة اللحظية هي مقدار القدرة المبددة (المفقودة) في لحظة معينة وهو يساوي حاصل ضرب مقدار الجهد في تلك اللحظة في مقدار التيار في اللحظة نفسها. انظر الشكل التالي:



شكل (4- 8) القدرة اللحظية

ملاحظات:

1. القدرة اللحظية تتغير كموجة ترددها ضعف تردد الجهد أو التيار.
2. الملف يقوم بتخزين الطاقة في المجال المغناطيسي.
3. المحث المثالي يخزن الطاقة ثم يعيدها إلى المصدر دون أن يستهلكها.
4. أثناء الفترة الزمنية التي تكون فيها القدرة اللحظية موجبة، فإن المحث يخزن الطاقة وذلك في حالتين:
   أ. الجهد موجب والتيار موجب.
   ب. الجهد سالب والتيار سالب.
5. أثناء الفترة الزمنية التي تكون فيها القدرة سالبة المحث يعيد الطاقة إلى المصدر وذلك أيضا في حالتين:
   أ. الجهد موجب والتيار سالب.
   ب. الجهد سالب والتيار موجب.

4- 5- 2 القدرة الحقيقية P_{true} True Power

لشرح القدرة الحقيقية، ينبغي التفكير في الملف المثالي، حيث إن الملف المثالي لايستهلك الطاقة وإنما يخزنها ويعيدها بأكملها إلى المصدر. كما أن القدرة الحقيقية الفعالة لملف مثالي دائما تساوي صفراً، أي أن:

$$P_{true} = 0 \quad (5\text{-}14)$$

وذلك للملف المثالي. لكن في الواقع الأمر يختلف، وذلك نظرا لوجود خاصية مقاومة اللفيفة، وباعتبار أن كل ملف في الواقع تكون له مقاومة معينة تعرف بمقاومة اللفيفة R_W. وبالتالي فإن هناك نسبة ضئيلة من القدرة التي تبدد تكون في شكل قدرة حقيقية، حيث إن:

$$P_{true} = I_{rms}^2 R_W \quad (4\text{-}6)$$

4 -5 -3 القدرة المفاعلة Reactive Power P_r

إن القدرة المفاعلة تمثل معدل سرعة شحن الطاقة أو عودتها إلى المصدر، ويمكن إيجاد قيمتها باستخدام صيغة القدرة المفاعلة كما يلي:

$$P_r = V_{rms} * I_{rms} \quad (4\text{-}7)$$

$$P_r = \frac{V_{rms}^2}{X_L} \quad (4\text{-}8)$$

$$P_r = I_{rms}^2 * X_L \quad (4\text{-}9)$$

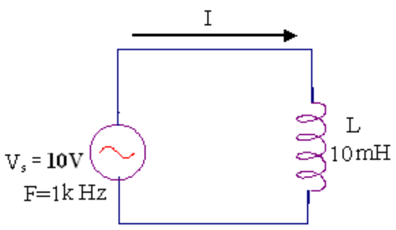
حيث أن: V_{rms}: القيمة الفعالة لجهد المحث.

I_{rms} : القيمة الفعالة لتيار المحث.

P_r هي القدرة المفاعلة وتقاس بوحدة Volt- Ampere – Reactive (VAR).

مثال (4- 3):

في الدائرة التالية:



شكل (4- 9) الدائرة الكهربائية لمثال (4- 3)

أوجد قيمة القدرة المفاعلة.

الحل:

$$P_r = \frac{V_{rms}^2}{X_L}$$

$$X_L = 2\pi F.L = 62.8\Omega \Rightarrow P_r = \frac{V_{rms}^2}{X_L} = 1.59VAR$$

مثال (4- 4)

لنفرض أن المحث، في المثال السابق، غير مثالي ومقاومة لفيفته تساوي $R_W = 5\Omega$. ما مقدار القدرة الحقيقية P_{true} ؟

الحل

نوجد أولا القيمة الفعالة للتيار الذي يمر خلال المحث (الملف)

$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{X_L} = 159mA$$

وبالتالي فإن القدرة الحقيقية تساوي :

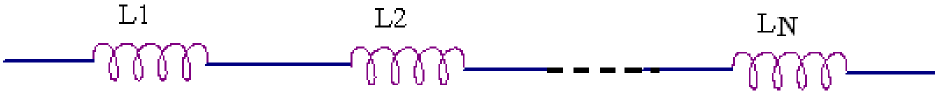
$$\Rightarrow P_{true} = I_{rms}^2 * R_W = 126mw$$

4- 6 دوائر التوالي والتوازي للملفات Series & Parallel Inductive AC Circuits

رأينا سابقا، كيفية حساب المحاثة الإجمالية لملفات موصلة على التوالي وأيضا على التوازي في دوائر التيار المستمر. أما هذا الجزء فسوف يشرح التوصيل توالي وتوازي للملفات في دوائر التيار المتردد، كما يلي:

4- 6- 1 الملفات على التوالي Inductors in Series

تظهر الملفات الموصلة على التوالي كما بالشكل التالي:



شكل (4- 10) الملفات الموصلة على التوالي

وتكون المحاثة الإجمالية لهذه الملفات، كما يلي:

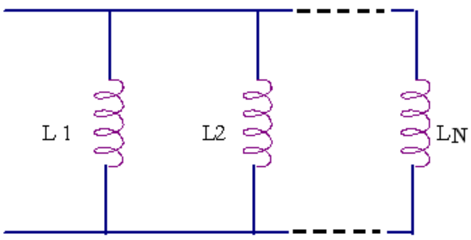
$$L_T = L_1 + L_2 .... + L_N \qquad (4- 10)$$

وبالتالي، فإن المفاعلة الحثية الإجمالية تكون:

$$X_{L_T} = X_{L_1} + X_{L_2} + ... X_{L_N} \qquad (4- 11)$$

4- 6- 2 الملفات على التوازي Parallel Inductors

تظهر الملفات الموصلة على التوازي كما بالشكل التالي:



شكل (4- 11) الملفات الموصلة على التوازي

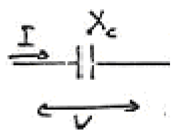
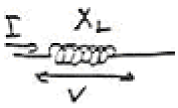
وتكون المحاثة الإجمالية لهذه الملفات، كما يلي:

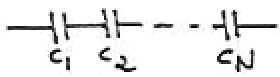
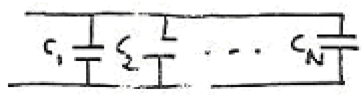
$$L_T = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + ... \frac{1}{L_N}} \qquad (4- 12)$$

وبالتالي، فإن:

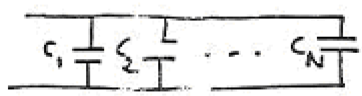
$$X_{L_T} = \frac{1}{\frac{1}{X_{L_1}} + \frac{1}{X_{L2}} + \ldots + \frac{1}{X_{LN}}} \qquad (13\ \ -4)$$

ملخص للقوانين المستخدمة في دوائر المكثفات والملفات Summary :

المكثفات Capacitors	**المحثات (الملفات)** Inductors
السعة Capacitance $C = \frac{A}{d} * \varepsilon_r * \left(8.85 * 10^{-12}\right)$	المحاثة Inductance $L = \frac{N^2 \mu.A}{\ell}$
الطاقة المخزونة. $W = \frac{1}{2} CV^2$	الطاقة المخزونة $W = \frac{1}{2} LI^2$
المفاعلة السعوية Capacitive Reactance $X_C = \frac{1}{2\pi.f.C}$	المفاعلة الحثية Inductive Reactance $X_L = 2\pi.f.L$
قانون أوم  $V = I.X_C$	قانون أوم  $V = I.X_L$

المحثات (الملفات) Inductors	المكثفات Capacitors
التيار الذي يعبر المحث يتأخر عن جهد المحث بزاوية طور مقدارها 90^o	التيار الذي يعبرالمكثف يتقدم على جهد المكثف بزاوية طور مقدارها 90^o
محثات على التوالي  $L_T = L_1 + L_2 + ... L_N$ $X_{L_T} = X_{L_1} + X_{L_2} + ... + X_{L_N}$	مكثفات على التوالي.  $C_T = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + ... \frac{1}{C_N}}$ $X_{C_T} = X_{C_1} + X_{C_2} + ... X_{C_N}$
محثات على التوازي  $L_T = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + ... + \frac{1}{L_N}}$ $X_{L_T} = \frac{1}{\frac{1}{X_{L_1}} + \frac{1}{X_{L_2}} + ... + \frac{1}{X_{L_N}}}$	مكثفات على التوازي  $C_T = C_1 + C_2 + ... C_N$ $X_{CT} = \frac{1}{\frac{1}{X_{c1}} + \frac{1}{X_{C_2}} + ... \frac{1}{X_{CN}}}$
محثان على التوالي $L_T = L_1 + L_2$ $X_{L_T} = X_{L_1} + X_{L_2}$	مكثفان على التوالي $C_T = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$ $X_{CT} = X_{C_1} + X_{C_2}$
محثان على التوازي $L_T = \frac{L_1 . L_2}{L_1 + L_2}$ $X_{LT} = \frac{X_{L_1} . X_{L_2}}{X_{l_1} + X_{L_2}}$	مكثفان على التوازي $C_T = C_1 + C_2$ $X_{C_T} = \frac{X_{C_1} . X_{C_2}}{X_{C_1} + X_{C_2}}$

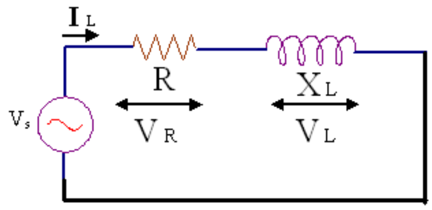
المكثفات Capacitors	المحثات (الملفات) Inductors
مكثفات على التوالي لها نفس السعة C $C_T = \frac{C}{N}$ $X_{C_T} = N.X_C$	محثات على التوالي لها نفس المحاثة L $L_T = N.L$ $X_{L_T} = N.X_L$
مكثفات على التوازي لها نفس السعة C. $C_T = N.C$ $X_{C_T} = \frac{X_C}{N}$	محثات على التوازي لها نفس المحاثة L $L_T = \frac{L}{N}$ $X_{L_T} \frac{X_L}{N}$

المكثفات Capacitors	المحثات (الملفات) Inductors
مكثفات على التوازي  $C_T = C_1 + C_2 + ...C_N$ $X_{CT} = \frac{1}{\frac{1}{X_{c1}} + \frac{1}{X_{C_2}} + ... \frac{1}{X_{CN}}}$	محثات على التوازي  $L_T = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + ... + \frac{1}{L_N}}$ $X_{L_T} = \frac{1}{\frac{1}{X_{L_1}} + \frac{1}{X_{L_2}} + ... + \frac{1}{X_{L_N}}}$
مكثفان على التوالي $C_T = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$ $X_{CT} = X_{C_1} + X_{C_2}$	محثان على التوالي. $L_T = L_1 + L_2$ $X_{L_T} = X_{L_1} + X_{L_2}$
مكثفان على التوازي $C_T = C_1 + C_2$ $X_{C_T} = \frac{X_{C_1}.X_{C_2}}{X_{C_1} + X_{C_2}}$	محثان على التوازي $L_T = \frac{L_1.L_2}{L_1 + L_2}$ $X_{LT} = \frac{X_{L_1}.X_{L_2}}{X_{l_1} + X_{L_2}}$
مكثفات على التوالي لها نفس السعة C $C_T = \frac{C}{N}$ $X_{C_T} = N.X_C$	محثات على التوالي لها نفس المحاثة L $L_T = N.L$ $X_{L_T} = N.X_L$
مكثفات على التوازي لها نفس السعة C. $C_T = N.C$ $X_{C_T} = \frac{X_C}{N}$	محثات على التوازي لها نفس المحاثة L $L_T = \frac{L}{N}$ $X_{L_T} \frac{X_L}{N}$

4- 7 دوائر المقاومة والملف على التوالي Series RL Circuits

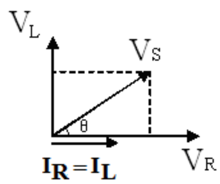
4- 7- 1 خواص دوائر المقاومة والملف على التوالي Characteristics of RL Circuits

في دوائر المقاومة والملف توالي، توصل المقاومة مع الملف كما في الشكل التالي:



شكل (4- 12) دائرة المقاومة والملف على التوالي

وبالتالي فإن الملف يتسبب في وجود فارق في زاوية الطور بين التيار الذي يعبره I_L والجهد المطبق عليه V_L. بينما يكون التيار المار في المقاومة I_R والجهد V_R لهما نفس زاوية الطور. وبسبب خاصية الملف، نجد أن I_L يتأخر عن V_L بزاوية طور مقدارها 90^o، مما يؤدي إلى أن الجهد على المقاومة V_R يتأخر على جهد الملف V_L بزاوية مقدارها 90^o، كما بالرسم التالي:



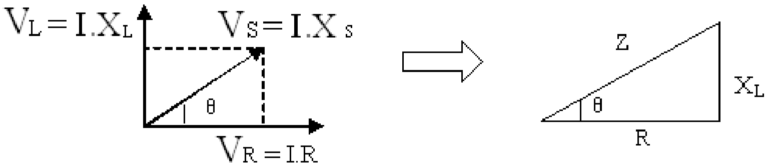
شكل (4- 13) متجهات الجهد والتيار للملف

وباعتبار أن هنالك فارق طور بين V_R و V_L فإن متجه جهد المصدر يساوي محصلة المتجهين $V_L + V_R$.

4- 7- 2 المعاوقة Impedance Z

كما سبق ذكره، فإن المعاوقة تمثل ممانعة الدائرة لمرور التيار الكهربائي، حيث إن المعاوقة بالنسبة لدائرة تحتوي على مقاومات تساوي المقاومة الإجمالية (الكلية) للدائرة R_T، أما بالنسبة لدائرة حثية (تحتوي على ملفات فإن المعاوقة تساوي المفاعلة الحثية الإجمالية X_{L_T}، وبالتالي فإن المعاوقة الكلية لدائرة تحتوي على مقاومة وملف يرمز لها بالرمز Z ووحدتها Ohm.

ويمكن تمثيل المعاوقة لدائرة مقاومة وملف على التوالي Series R – L بالمثلث التالي:



شكل (4- 14) مثلث المعاوقة

وعند استخدام قانون فيثاغوريس Pythagoras نحصل على:

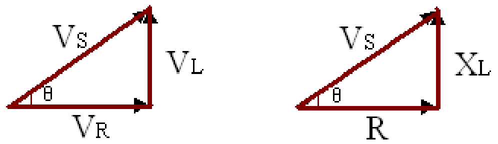
$$Z^2 = R^2 + X_L{}^2 \qquad (4-14)$$

وبالتالي فإن معاوقة دائرة RL على التوالي تكون:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L{}^2} \qquad (4-15)$$

4- 7- 3 زاوية الطور Phase Angle θ

زاوية الطور هي فارق الطور بين جهد المصدر والتيار المسحوب من هذا المصدر. كما يمكن تمثيل وكتابة θ في دوائر المقاومة والملف على التوالي بدلالة الجهود أو بدلالة المقاومة والمفاعلة الحثية كما يلي:



شكل (4- 15) زاوية الطور بين جهد المصدر والتيار

وبالتالي فإن:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{X_L}{R}\right) \quad \text{and} \quad \theta = \tan^{-1}\left(\frac{V_L}{V_R}\right) \qquad (4-16)$$

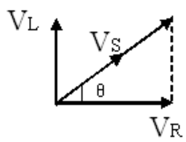
حيث ظل الزاوية θ (أي $\tan\theta$) يساوي طول الضلع المقابل للزاوية θ مقسوما على طول الضلع المجاور، كما يلي:

$$\tan\theta = \frac{V_L}{V_R} \qquad (4-17)$$

أما المعادلة $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{V_L}{V_R}\right)$ فتعني الزاوية التي يكون ظلها $\frac{V_L}{V_R}$.

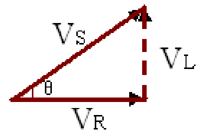
4- 7- 4 العلاقة بين الجهود في دائرة RL على التوالي Voltages Relationships

يمكن تمثيل كل من جهد المصدر V_S والجهد على المقاومة V_R والجهد على الملف V_L كما في الشكل التالي:



شكل (4- 16) متجهات الجهود في دوائر RL على التوالي

من هذا الرسم يمكن استنتاج المثلث التالي:



شكل (4- 17) علاقات الجهود في دوائر RL على التوالي

حيث إن طول كل قيمة يتناسب مع الكمية التي يمثلها.

وبتطبيق قانون فيثاغورس Pythagoras نحصل على:

$$V_s^2 = V_R^2 + V_L^2 \qquad (4\text{- }18)$$

ومن هذه العلاقة يمكن استنتاج الجهود التالية:

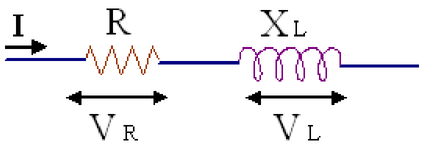
$$V_S = \sqrt{V_R^2 + V_L^2} \qquad (4\text{- }19)$$

$$V_R = \sqrt{V_S^2 - V_L^2} \qquad (4\text{- }20)$$

$$V_L = \sqrt{V_S^2 - V_R^2} \qquad (4\text{- }21)$$

4- 7- 5 قانون أوم لدوائر المقاومة والملف توالي Ohm's Law

عند توصيل مقاومة وملف على التوالي، فإنه يمكن تطبيق قانون أوم عليها، كما بالشكل التالي:



شكل (4- 18) قانون أوم في دوائر RL على التوالي

ولتطبيق قانون أوم في الدائرة لحساب قيمة كل من الجهد على المقاومة V_R نستخدم العلاقة التالية:

$$V_R = I.R \qquad (4\text{- }22)$$

أما عند إيجاد قيمة الجهد على الملف V_L، فنحتاج لإيجاد قيمة المفاعلة الحثية X_L أولا، ثم بعد ذلك يمكن استخدام العلاقة التالية وذلك لإيجاد قيمة V_L:

$$V_L = I.X_L \qquad (4\text{- }23)$$

أما إذا كان المطلوب إيجاد قيمة الجهد على كل من المقاومة والملف V (انظر الشكل)، عندها يجب إيجاد قيمة المعاوقة Z لدائرة RL ومن ثم التعويض في العلاقة التالية:

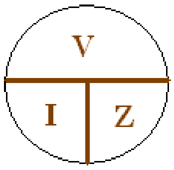
$$V = I.Z \qquad (4\text{-}24)$$

ومنها يمكن استنتاج العلاقات التالية:

$$I = \frac{V}{Z} \qquad (4\text{-}25)$$

$$Z = \frac{V}{I} \qquad (4\text{-}26)$$

وبالتالي، يمكن اختصار جميع العلاقات السابقة كما بالشكل التالي:



شكل (4- 19) اختصار لعلاقات قانون أوم

4- 7- 6 تأثير التردد على قيم عناصر دائرة المقاومة والملف Frequency Effect on RL Circuit

إن لتغيير التردد في دوائر المقاومة والملف تأثير على المعاوقة، وزاوية الطور، والجهد، والتيار. ويمكن إيضاح تأثير تغير قيمة التردد لمصدر الجهد الموصل بدائرة تحتوي على مقاومة وملف على التوالي بدراسة الحالات التالية:

1. إن الزيادة في التردد f تؤدي إلى زيادة المفاعلة الحثية X_L، حيث إن $(X_L = 2\pi fL)$. وبالتالي:
   - ⇐ المعاوقة تزيد: $\left(Z = \sqrt{R^2 + X_L^{\,2}}\right)$
   - ⇐ التيار يقل: $I = \frac{V}{Z}$ (التجربة تنفذ في المعمل).
   - ⇐ جهد المقاومة V_R يقل KVL
   - ⇐ جهد الملف V_L يزيد $\left(V_S^{\,2} = V_R^{\,2} + V_L^{\,2}\right)$.

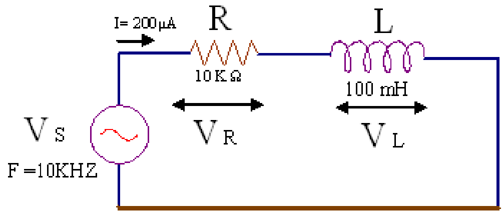
2. انخفاض التردد $f \Leftarrow \downarrow X_L \Leftarrow \downarrow Z$ وبالتالي $\uparrow I \Leftarrow \uparrow V_R \downarrow V_L$

ويمكن تلخيص جميع الحالات كما يلي:

الزيادة في التردد f	$\uparrow X_L$	$\uparrow Z$	$\downarrow I$	$\downarrow V_R$	$\uparrow V_L$
انخفاض التردد f	$\downarrow X_L$	$\downarrow Z$	$\uparrow I$	$\uparrow V_R$	$\downarrow V_L$

مثال (4- 5)

في الدائرة التالية:



شكل (4- 20) الدائرة الكهربائية لمثال (4- 5)

أ. أوجد قيمة المفاعلة الحثية للملف X_L

$$X_L = 2\pi fL = 6.28k\Omega$$

ب. المعاوقة Z

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^{\ 2}} = 11.8k\Omega$$

ت. جهد المقاومة

$$V_R = I.R = 2V$$

ث. جهد المحث

$$V_L = I * X_L = 1.256V$$

ج. جهد المصدر

$$(a)V_S = \sqrt{V_R^{\ 2} + V_L^{\ 2}} = 2.36V$$

$$(b)V_S = I.Z = 2.36V$$

ح. زاوية الطور

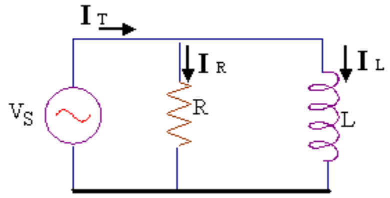
$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{X_L}{R}\right) = 32^0$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{V_L}{V_R}\right) = 32^0$$

4- 8 دوائر المقاومة والملف على التوازي Parallel RL Circuits

4- 8- 1 خواص دوائر المقاومة والملف على التوازي Characteristics of RL Circuits

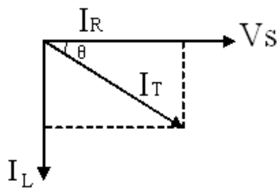
في دوائر المقاومة والملف على التوازي، توصل المقاومة مع الملف كما في الشكل التالي:



شكل (4- 21) دائرة RL على التوازي

ملاحظات:

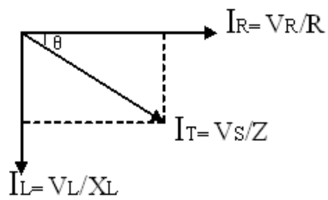
- $V_L = V_R = V_S$
- I_R و V_R متطابقا الطور
- I_L يتأخر عن I_R بزاوية مقدارها 90^o.
- التيار الإجمالي I_T يتأخر عن جهد المصدر بزاوية طور θ.



شكل (4- 22) متجهات التيار في دائرة RL على التوازي

4- 8- 2 المعاوقة Impedance Z

كما ذكر سابقا، المعاوقة تمثل ممانعة الدائرة لمرور التيار الكهربائي، حيث إن المعاوقة بالنسبة لدائرة تحتوي على مقاومة وملف على التوازي يرمز لها بالرمز Z ووحدتها Ohm. والشكل التالي، يوضح علاقات التيار في دائرة المقاومة والملف على التوازي:



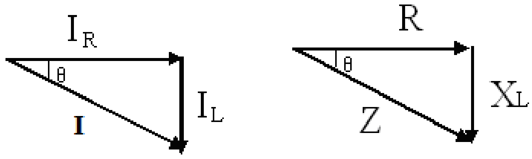
شكل (4- 23) علاقات التيار في دائرة RL على التوازي

وبالتالي فإن:

$$I_R = \frac{V_R}{R} \qquad (4- 27)$$

4- 8- 3 زاوية الطور Phase Angle θ

يمكن تمثيل وكتابة θ في دوائر المقاومة والملف على التوازي بدلالة التيارات أو بدلالة المقاومة والمفاعلة الحثية كما يلي:



شكل (4- 24) زاوية الطور بدلالة التيارات والمقاومة والمفاعلة الحثية

وبالتالي فإن:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{X_L}{R}\right) \quad \text{and} \quad \theta = \tan^{-1}\left(\frac{I_L}{I_R}\right) \qquad (4\text{-}30)$$

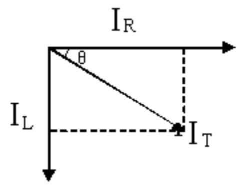
حيث إن ظل الزاوية θ (أي $\tan\theta$) يساوي طول الضلع المقابل للزاوية θ مقسوما على طول الضلع المجاور، كما يلي:

$$\tan\theta = \frac{I_L}{I_R} \qquad (4\text{-}31)$$

حيث إن: المعادلة $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{I_L}{I_R}\right)$ تعني الزاوية التي يكون ظلها $\frac{I_L}{I_R}$.

4- 8- 4 العلاقة بين التيارات في دائرة RL على التوازي Currents Relationships

يمكن تمثيل كل من التيار الكلي I_T وتيار المقاومة I_R والتيار المار في الملف I_L كما في الشكل التالي:



شكل (4- 25) العلاقة بين التيارات في دوائر RL على التوازي

حسب المثلث أعلاه، وبتطبيق قانون فيثاغورس نجد أن:

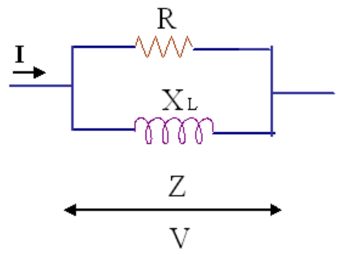
$$I_T^{\,2} = I_R^{\,2} + I_L^{\,2} \qquad (4\text{-}32)$$

وبالتالي فإن:

$$I_T = \sqrt{I_R^{\,2} + I_L^{\,2}} \Rightarrow I_R = \sqrt{I_T^{\,2} - I_L^{\,2}} \Rightarrow I_L = \sqrt{I_T^{\,2} - I_R^{\,2}} \qquad (4\text{-}33)$$

4- 8- 5 قانون أوم لدوائر المقاومة والملف توازي Ohm's Law

عند توصيل مقاومة وملف على التوازي، فإنه يمكن تطبيق قانون أوم عليها، كما بالشكل التالي:



شكل (4- 26) قانون أوم في دوائر RL على التوازي

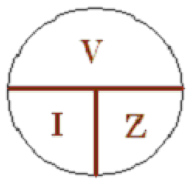
حيث إن:

$$V = I * Z \qquad (4-34)$$

ومنها يمكن استنتاج العلاقات التالية:

$$I = \frac{V}{Z} \Rightarrow Z = \frac{V}{I} \qquad (4-35)$$

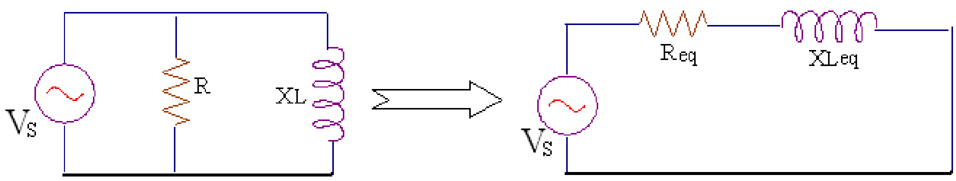
وبالتالي، يمكن اختصار جميع العلاقات السابقة كما بالشكل التالي:



شكل (4- 27) اختصار لقانون أوم

4- 8- 6 التحويل من دوائر *RL* توازي إلى *RL* توالي Conversion From Parallel to Series Form

في كثير من الأحيان، نضطر لتحويل دوائر *RL* موصلة على التوازي إلى دوائر *RL* موصلة على التوالي، حيث إن كل دائرة *RL* على التوازي لها دائرة *RL* مكافئة على التوالي، هذا التكافؤ من حيث المعاوقة وزاوية الطور، وذلك بالنسبة لتردد معين، ويمكن إيجاد الدائرة المكافئة كما يلي:



شكل (4- 28) الدائرة المكافئة لدائرة RL على التوازي

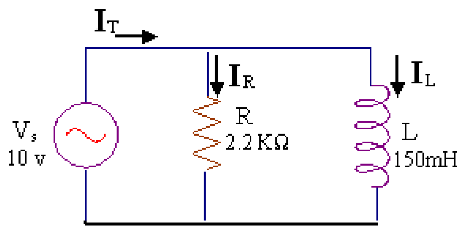
هذه الدائرة المكافئة على التوالي تتكون من مقاومة R_{eq} ومعاوقة حثية مكافئة X_{Leq} ، حيث إنه يمكن حساب قيم R_{eq} و X_{Leq} باستخدام العلاقات التالية:

$$R_{eq} = Z\cos\theta \qquad (4-36)$$

$$X_{Leq} = Z\sin\theta \Rightarrow L_{eq} = \frac{X_{Leq}}{2\pi F} = \frac{Z.\sin\theta}{2\pi F} \qquad (4-37)$$

مثال (4- 6):

في الدائرة التالية:



شكل (4- 29) الدائرة الكهربائية لمثال (4- 6)

أ. أوجد قيمة المفاعلة الحثية X_L

$$X_L = 2\pi.f.L = 1.41k\Omega$$

ب. أوجد قيمة المعاوقة Z

$$Z = \frac{RX_L}{\sqrt{R^2 + X_L^{\ 2}}} = 1.19k\Omega$$

ت. أوجد قيمة التيار الذي يعبر المقاومة I_R

$$I_{R(rms)} = \frac{V_{S(rms)}}{R} = 4.54mA$$

ث. أوجد قيمة التيار الذي يعبر الملف I_L

$$I_{L(rms)} = \frac{V_{S(rms)}}{X_L} = 7.1mA$$

ج. أوجد التيار الكلي I_T

$$(a) I_{T(rms)} = \sqrt{I^2_{R(rms)} + I^2_{L(rms)}} = 8.42mA$$

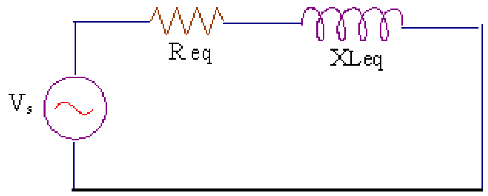
$$(b) I_{Trms} = \frac{V_{S(rms)}}{Z} = 8.42mA$$

ح. أوجد زاوية الطور θ

$$(a) \theta = \tan^{-1}\left(\frac{R}{X_L}\right) = 57.3^0$$

$$(b) \theta = \tan^{-1}\left(\frac{I_{L(rms)}}{I_{R(rms)}}\right) = 57.3^0$$

خ. أوجد الدائرة RL على التوالي المكافئة لدائرة التوازي



شكل (4- 30) الدائرة المكافئة لدائرة التوازي

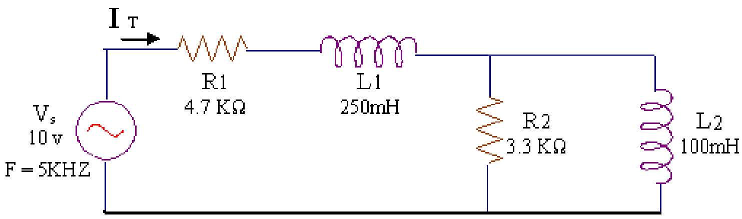
$$R_{eq} = Z.\cos\theta = 643\Omega \text{ And } X_{Leq} = Z.\sin\theta = 1k\Omega \Rightarrow L_{eq} = \frac{X_{Leq}}{2\pi F} = 106.25mH$$

4- 9 التوصيل المشترك (توالي - توازي) لدوائر المقاومة والملف Series -Parallel RL Circuits

سيتم شرح هذا النوع من التوصيل عن طريق بعض التطبيقات والأمثلة.

مثال (4- 7):

في الدائرة التالية:



شكل (4- 31) الدائرة الكهربائية لمثال (4- 7)

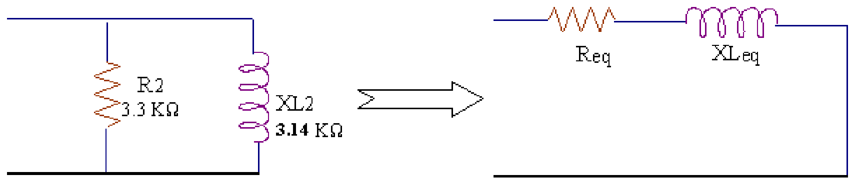
1) أوجد المعاوقة الإجمالية Z_T.
2) أوجد التيار الإجمالي I_T.
3) أوجد زاوية الطور θ بين الجهد V_S والتيار I

الحل:

أولا : إيجاد المفاعلات الحثية :

$$X_{L_1} = 2\pi f L_1 = 7.85k\Omega$$
$$X_{L_2} = 2\pi f L_2 = 3.14k\Omega$$

ثانيا : نحول الجزء المكون من مقاومة ومحث على التوازي إلى دائرة مكافئة على التوالي



شكل (4- 32) الدائرة المكافئة لدائرة التوازي

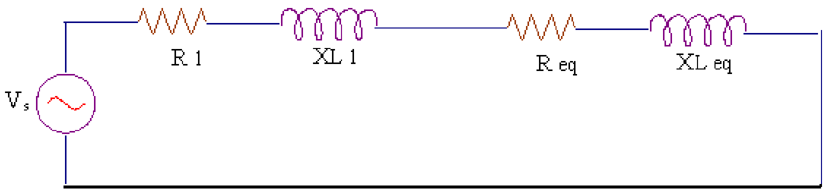
لأجل هذا نبحث أولا عن معاوقة هذا الجزء وزاوية طوره.

$$Z_2 = \frac{R_2 . X_{L2}}{\sqrt{R_2{}^2 + X_L{}^2}} = 2.28k\Omega$$

$$\theta_2 = \tan^{-1}\left(\frac{R_2}{X_{L_2}}\right) = 46.4^0$$

$$\Rightarrow \begin{cases} R_{eq} = Z_2 \cos\theta_2 = 1.57k\Omega \\ X_{L_{eq}} = Z_2 . \sin\theta_2 = 1.65k\Omega \end{cases}$$

تصبح الدائرة مكونة من مقاومتين ومحثين على التوالي، كما يلي:



المقاومة الإجمالية

$$R_T = R_1 + R_{eq} = 6.27k\Omega$$

المفاعلة الحثية الإجمالية

$$X_{LT} = X_{L1} + X_{Leq} = 9.5k\Omega$$

أصبحت الآن الدائرة مكونة من $X_{L_T} = 9.5k\Omega$ على التوالي مع $R_T = 6.27k\Omega$، ومن ثم يمكن إيجاد كلا من:

$$Z_T = \sqrt{R_T{}^2 + X_{L_T}{}^2} = 11.4k\Omega$$

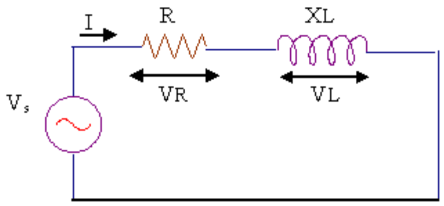
$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{X_{L_T}}{R_T}\right) = 56.6^o$$

$$I_T = \frac{V_S}{Z_T} = 877\mu A.$$

4- 10 القدرة في دوائر المقاومة والملف Power in RL Circuits

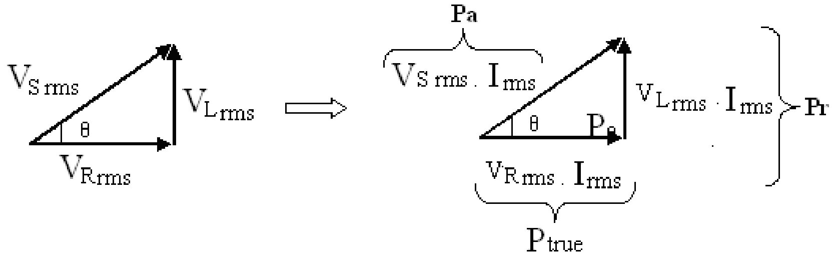
4- 10- 1 مثلث القدرة Power Triangle

كما ذكرنا سابقا، فإن كل دائرة RL توازي يمكن تحويلها إلى دائرة RL على التوالي، وذلك حتى نتمكن من دراسة دائرة RL على التوالي لأنها الأسهل عند تحليل الدوائر.



شكل (4- 33) دائرة RL على التوالي

كما لاحظنا في الجزء الخاص بدائرة المقاومة والملف على التوالي فإنه يمكن الحصول على مثلث القدرة وذلك بضرب كل ضلع بالقيمة الفعالة للتيار I_{rms} كما يلي:



شكل (4- 34) علاقة الجهود بعد ضربها في قيمة التيار

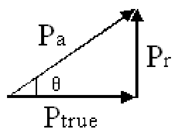
حيث إن:

$V_{R_{rms}} \times I_{rms}$ هي القدرة الحقيقية التي تبددها المقاومة.

$V_{Lrms} \times I_{rms}$ هي القدرة المفاعلة للملف .

$V_{S_{rms}} \times I_{rms}$ تسمى القدرة الظاهرية Apparent Power.

مثلث القدرة Power Triangle، موضح بالشكل التالي:



شكل (4- 35) مثلث القدرة

4- 10- 2 علاقات القدرة ووحدات قياسها Power Relationships and Units

القدرة الظاهرية Apparent Power وتقاس بالفولت أمبير $Vott - Ampere \ (VA)$:

$$P_a = V_{Srms} * I_{rms} = \frac{V_{Srms}^2}{Z} = I_{rms}^2 * Z \qquad (4-38)$$

القدرة الحقيقية True Power وتقاس بالوات $Watt \ (W)$:

$$P_{true} = P_a . \cos\theta \qquad (4-39)$$

القدرة المفاعلة Reactive Power ووحدة قياسها $Volt - Ampere - Reactive \ (VAR)$:

$$P_r = P_a . \sin\theta \qquad (4-40)$$

4- 10- 3 مدلول القدرة الظاهرية The Significance of apparent Power

القدرة الظاهرية Apparent Power كمية مركبة من قدرة حقيقية وأخرى مفاعلة (مركبة)، وهذه القدرة الظاهرية هي القدرة المنقولة من المصدر إلى الحمل. أما القدرة الحقيقية فهي التي تبدد وهي التي تمكن من القيام بالشغل المطلوب، وأما القدرة المفاعلة فتعود إلى المصدر.

وأحسن الحالات أن تكون كل القدرة الظاهرية (المنتقلة إلى الحمل) قدرة حقيقية وفعالة تبدد في شكل شغل مبذول، ومعنى ذلك أن تكون القدرة الظاهرية خالية من القدرة المفاعلة. ولكن في الواقع كل حمل له مفاعلة معينة أو بالتالي قدرة مفاعلة.

ملحوظة:

النسبة بين القدرة الحقيقية الفعالة التي تنجز الشغل والقدرة الظاهرية المنقولة من المصدر إلى الحمل أو الجهاز، تسمى معامل القدرة $PF : thePowerFactor$ ، وبمعنى آخر يمكن تعريف معامل القدرة بأنه النسبة بين القدرة الحقيقية الفعالة والقدرة التي تنقل من المصدر نحو الحمل.

4- 10- 4 معامل القدرة The Power Factor (PF)

يمكن إيجاد قيمة هذا المعامل باستخدام العلاقات التالية:

$$PF = \frac{P_{true}}{P_a} = \cos\theta \qquad (4-41)$$

وبالتالي:

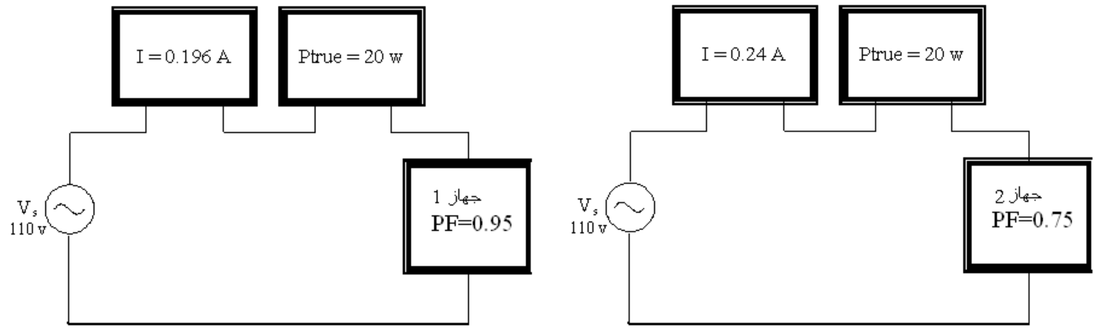
$$PF = \cos\theta \qquad (4-42)$$

حيث إن θ : هي زاوية طور الدائرة، أي فارق الطور بين جهد المصدر والتيار الكلي.

وبالتالي ، إذا زادت زاوية الطور θ فإن ذلك يؤدي إلى انخفاض معامل القدرة، ومن ثم يمكن القول أن ذلك يدل على انخفاض القدرة المبددة وزيادة القدرة المفاعلة. وكلما اقتربت قيمة معامل القدرة من الواحد كان أفضل.

مثال (4- 8):

في الشكل التالي جهازان:



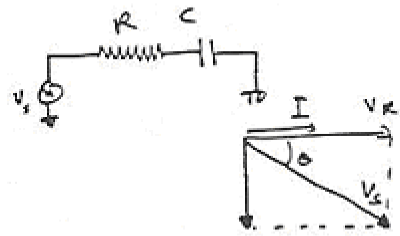
شكل (4- 36) الدوائر الكهربائية لمثال (4- 8)

الجهازان 2,1 يقومان بنفس الشغل وبالتالي يبددان نفس القدرة $20w$ إلا أن معامل قدرة الجهاز الأول أكبر من معامل قدرة الجهاز الثاني. وفي كلتا الحالتين نقوم بقياس التيار الكهربائي من المصدر. فمن الرسم يمكن ملاحظة أن الجهاز الثاني $(PF = 0.75)$ يسحب كمية أكثر من التيار عن الجهاز الأول $(PF = 0.95)$ ، وبالتالي كلما اقترب معامل القدرة من الأول كلما سحب كمية أقل من التيار.

ملخص Summary للعلاقات المستخدمة في دوائر المقاومة والمكثف والمقاومة والملف

<table>
<tr><th>دائرة المقاومة والمكثف RC</th><th>دائرة المقاومة والملف RL</th></tr>
<tr><td>

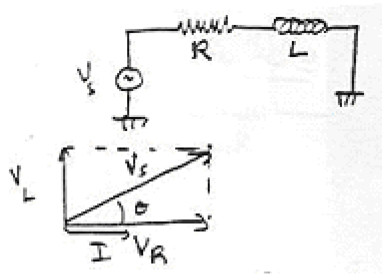
دائرة RC على التوالي



- التيار يتقدم على جهد المصدر بطور مقداره θ
- المعاوقة $Z=\sqrt{R^2+{X_C}^2}$
- زاوية الطور $\theta=\tan^{-1}\left(\frac{X_C}{R}\right)$ ، $\theta=\tan^{-1}\left(\frac{V_C}{V_R}\right)$
- ${V_S}^2={V_R}^2+{V_C}^2$

</td><td>

دائرة RL على التوالي

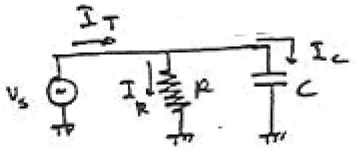


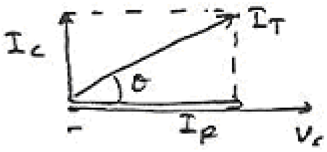
- التيار يتأخر عن جهد المصدر بطور مقداره θ
- المعاوقة $Z=\sqrt{R^2+{X_L}^2}$
- زاوية الطور $\theta=\tan^{-1}\left(\frac{X_L}{R}\right)$ ، $\theta=\tan^{-1}\left(\frac{V_L}{V_R}\right)$
- ${V_S}^2={V_R}^2+{V_L}^2$

</td></tr>
</table>

دائرة المقاومة والمكثف RC

دائرة RC على التوازي





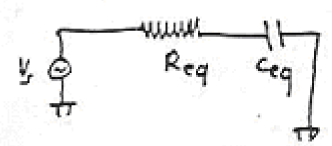
- التيار يتقدم على جهد المصدر بطور مقداره θ
- المعاوقة $Z = \dfrac{RX_C}{\sqrt{R^2 + X_C{}^2}}$
- زاوية الطور

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{R}{X_C}\right)$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{I_C}{I_R}\right)$$

- $I_T{}^2 = I_R{}^2 + I_C{}^2$

- الدائرة المكافئة على التوالي:



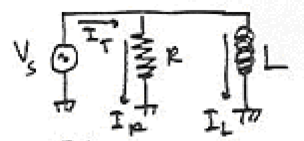
$$R_{eq} = Z.\cos\theta$$

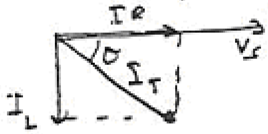
$$X_{Ceq} = Z.\sin\theta$$

$$C_{eq} = \frac{1}{2\pi.F.X_{Ceq}} = \frac{1}{2\pi.F.Z.\sin\theta}$$

دائرة المقاومة والملف RL

دائرة RL على التوازي





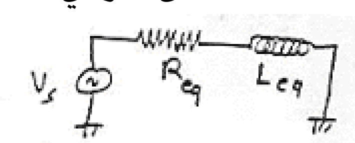
- التيار يتأخر عن جهد المصدر بطور مقداره θ
- المعاوقة $Z = \dfrac{R.X_L}{\sqrt{R^2 + X_L{}^2}}$
- زاوية الطور

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{R}{X_L}\right)$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{I_L}{I_R}\right)$$

- $I_T{}^2 = I_R{}^2 + I_L{}^2$

- الدائرة المكافئة على التوالي:



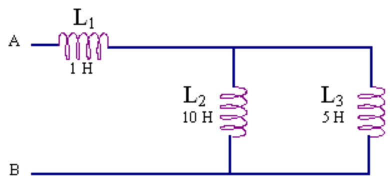
$$R_{eq} = Z.\cos\theta$$

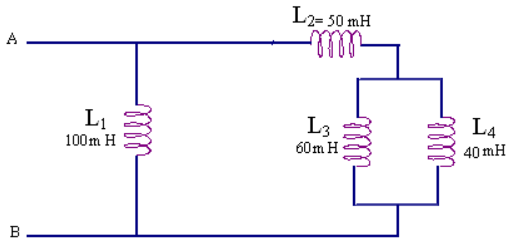
$$X_{L_{eq}} = Z.\sin\theta$$

$$L_{eq} = \frac{X_{Leq}}{2\pi F} = \frac{Z.\sin\theta}{2\pi F}$$

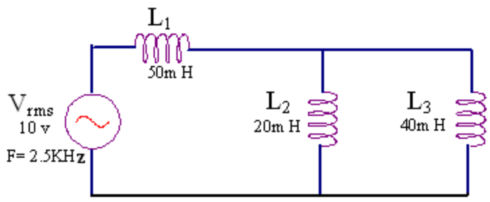
تدريبات على الوحدة الرابعة

1. ملف له محاثة قدرها $100mH$ ، ما مقدار الطاقة التي يخزنها إذا مر عبره تيار قدره $1A$ ؟
2. أوجد المحاثة الإجمالية بين B,A ، في الدائرتين:





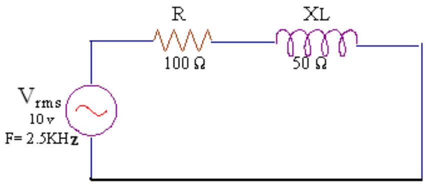
3. في الدائرة التالية:

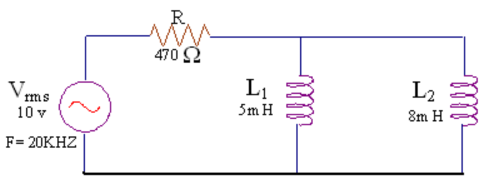


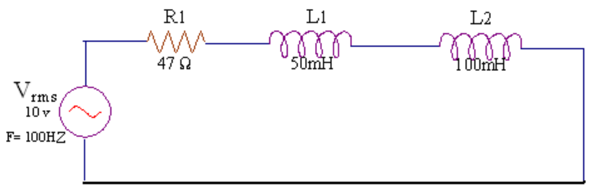
أ. أوجد القيمة الفعالة للتيار الإجمالي المسحوب من المصدر.

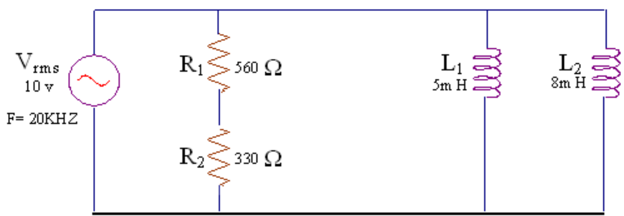
ب. أوجد التيار عبر المحثي L_3, L_2 .

4. أوجد قيمة المعاوقة Impedance ، في الدوائر التالية:

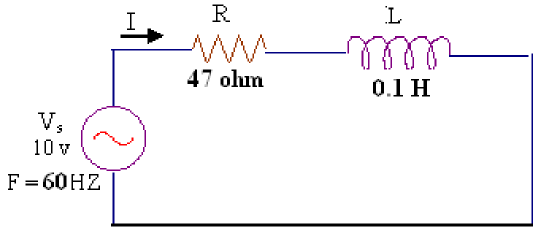








5. في الدائرة التالية:

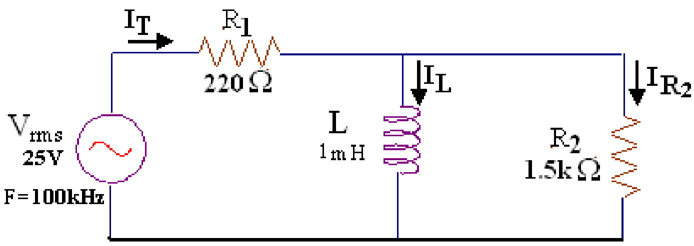


أ. أوجد مقدار التيار I

ب. أوجد زاوية الطور θ

ت. أوجد V_L , V_R

6. في الدائرة التالية:



أ. أوجد الجهد عبر كل عنصر

ب. أوجد التيار الإجمالي المسحوب من المصدر I_T

ت. أوجد التيار عبر فرع I_{R_2}, I_L

ث. أوجد القدرة الحقيقية P_{true} والقدرة المفاعلة P_r

ج. أوجد القدرة الظاهرية P_a ومعامل القدرة PF

دوائر كهربائية- 2

دوائر المقاومة والمكثف والملف

الوحدة الخامسة

دوائر المقاومة والمكثف والملف

الجدارة: القدرة على التعرف على دوائر المقاومة والمكثف والملف.

الأهداف: عندما تكتمل هذه الوحدة تكون لدى المدرب القدرة على أن :-
يتعرف على دوائر المقاومة والمكثف والملف.

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل المتدرب إلى إتقان الجدارة بنسبة 90٪

الوقت المتوقع للتدرب على الجدارة: 9 ساعات

الوسائل المساعدة :

- سبورة.
- جهاز عرض بروجكتور باستخدام الحاسب.

متطلبات الجدارة : أن يكون المتدرب قادرا على التعرف وتمييز ما درس سابقا بالإضافة إلى أساسيات الرياضيات في الدوال الهندسية والمتجهات وما ورد في قوانين كيرشوف والمكثفات والملفات.

1-5 مقدمة Introduction

في كثير من التطبيقات الهامة في الدوائر الكهربائية يتم توصيل مقاومة مع ملف ومكثف بطرق مختلفة كما يلي :

أ. دوائر المقاومة والملف والمكثف على التوالي Series RLC Circuits

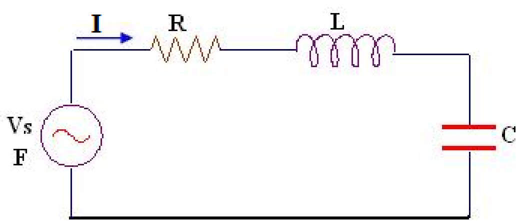
ب. دوائر المقاومة والملف والمكثف على التوازي Parallel RLC Circuits

وسنقوم في هذه الوحدة بشرح الطرق المختلفة لتوصيل العناصر الثلاثة مع بعضها ، بالإضافة لدوائر الرنين Resonance Circuits.

5- 2 دوائر المقاومة والملف والمكثف *RLC* على التوالي Series RLC Circuit

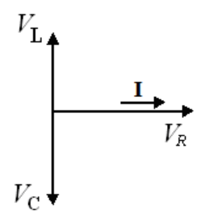
5- 2- 1 خواص دوائر المقاومة والملف والمكثف على التوالي RLC Circuits Characteristics

في هذه الحالة، توصل العناصر الثلاثة كما بالشكل التالي:



شكل (5- 1) دائرة RLC على التوالي

حيث تكون زاوية الطور بين التيار المار في هذه العناصر والجهد المطبق عليها كما يلي:



شكل (5- 2) زاوية الطور بين الجهد والتيار المار في دائرة RLC على التوالي

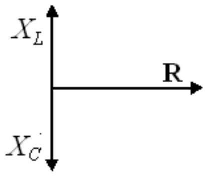
ملحوظات:

- I_C, I_L, I_R يمثلها نفس المتجه I.
- بالنسبة للمقاومة: V_R, I متطابقا الطور.
- في الملف (المحث): I يتأخر عن V_L بزاوية طور مقدارها 90^o.
- في المكثف: I يتقدم على V_C بزاوية طور مقدارها 90^o.

ومن الشكل (5- 2)، يتضح أن فارق الطور بين جهد المكثف وجهد المحث 180^o وبالتالي فهما على نفس الاستقامة ومتضادان في الاتجاه.

5- 2- 2 المفاعلة الإجمالية Total Reactance

المفاعلة الإجمالية تساوي القيمة المطلقة للفارق بين قيمة المفاعلة السعوية والمفاعلة الحثية، كما بالشكل التالي:



شكل (5- 3) المفاعلة الإجمالية لدائرة RLC على التوالي

أي إن:

$$X_T = |X_L - X_C| \quad (5\text{-}1)$$

فإذا كانت قيمة:

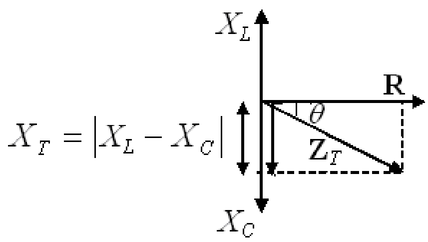
$X_L > X_C \Leftarrow$ الدائرة حثية أكثر منها سعوية

$X_C > X_L \Leftarrow$ الدائرة سعوية أكثر منها حثية

$X_C = X_L$ المعاوقتان السعوية والحثية يلغي أحدهما الآخر

5- 2- 3 المعاوقة الإجمالية Total Impedance

من الشكل التالي:



شكل (5- 4) المعاوقة الإجمالية لدائرة RLC على التوالي

يتضح أنه يمكن إيجاد المعاوقة الكلية باستخدام العلاقة التالية:

$$Z_T = \sqrt{R^2 + X_T^2} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (5\text{-}2)$$

5- 2- 4 زاوية الطور Phase Angle

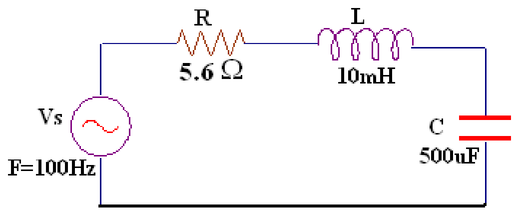
زاوية الطور θ أو فارق الطور بين جهد المصدر والتيار المسحوب من المصدر تساوي:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{X_T}{R}\right) \qquad (5\text{-}3)$$

حيث إنه إذاكانت الدائرة سعوية أي إن $X_C > X_L \Leftarrow$ التيار يتقدم على الجهد بطور قدره θ. أما إذاكانت الدائرة حثية $X_L > X_C \Leftarrow$ التيار يتأخر عن الجهد بطور قدره θ.

مثال (5- 1):

في الدائرة التالية:



شكل (5- 5) الدائرة الكهربائية لمثال (5- 1)

أوجد قيمة المعاوقة الإجمالية وزاوية الطور.

الحل:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f.C} = 3.18\Omega$$
$$X_L = 2\pi f.L = 6.28\Omega$$

$X_L > X_C \Leftarrow$ الدائرة حثية أكثر من أنها سعوية.

لإيجاد المفاعلة الاجمالية:

$$X_T = |X_L - X_C| = 3.1\Omega$$

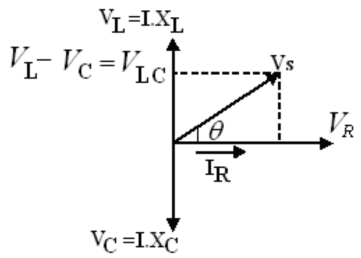
المعاوقة:

$$Z_T = \sqrt{R^2 + X_T^{\,2}} = 6.4\Omega$$

زاوية الطور:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{X_T}{R}\right) = 29^0$$

باعتبار أن $X_L > X_C$ فإن التيار يتأخر عن الجهد بزاوية مقدارها 29^0



شكل (5- 6) الرسم الاتجاهي للجهود الثلاثة V_R,V_L,V_C

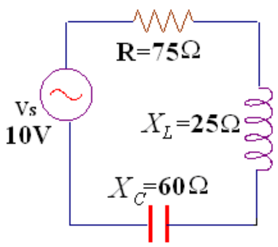
أو بمعنى آخر فإن، جهد الملف (المحث) والمكثف معا V_{LC} جهد حثي لأن المكون الحثي يتفوق على المكون السعوي، وبالتالي فإن هذا الجهد V_{LC} يتقدم على جهد وتيار المقاومة بزاوية مقدارها $\theta = 90^o$ ، ومن ثم فإن V_S يتقدم على I بزاوية طور قيمتها $\theta = 29^o$.

5- 2- 5 تحليل دوائر المقاومة والملف والمكثف على التوالي Analysis of Series RLC Circuits

جهد الملف (المحث) وجهد المكثف في دائرة RLC على التوالي يكونان دائما متعاكسين في الطور، أي إن بينهما زاوية مقدارها 180^0.

مثال (5- 2)

في الدائرة التالية:



شكل (5- 7) الدائرة الكهربائية لمثال (5- 2)

أ. أوجد قيمة الجهد عبر كل عنصر ثم ارسم الرسم البياني لمتجهات الجهد مبينا فوارق الطور بينها.

ب. أوجد كذلك فارق الجهد عبر المكثف والمحث معاً V_{LC}.

الحل:

(أ) نوجد التيار، كما يلي:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = 82.8\Omega$$

وبالتالي فإن:

$$I = \frac{V_S}{Z} = 121mA$$

(ب) باستخدام قانون أوم، نجد أن:

$$V_R = I.R = 9.08V$$
$$V_C = I.X_C = 7.26V$$
$$V_L = I.X_L = 3.03V$$

(ج) يمكن إيجاد الجهد عبر المكثف والمحث معا V_{L_C}، كما يلي:

$$V_{L_C} = V_C - V_L = 4.23V$$

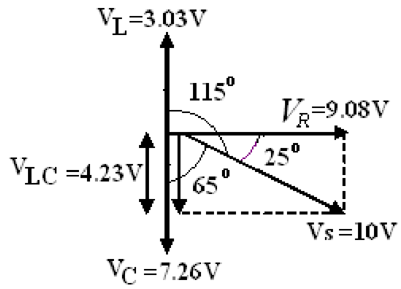
واتجاهه هو اتجاه أكبر القيمتين أي V_C.

أما زاوية الطور فتساوي:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{X_T}{R}\right) = 25^0$$

ونظرا لأن $X_L < X_C$ فإن الدائرة سعوية وبالتالي التيار يتقدم على الجهد بزاوية مقدارها 25^0.

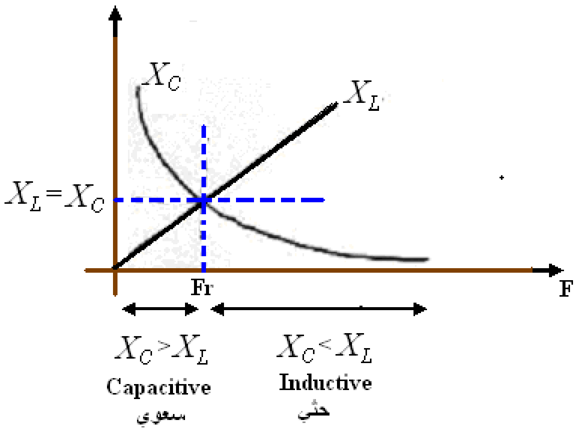
أي إن:



شكل (5- 8) الرسم البياني لمتجهات الجهد

5- 2- 6 رنين التوالي Series Resonance

رأينا كيف أن المفاعلة السعوية والمفاعلة الحثية تعاكس إحداهما الأخرى، وينبغي أن نتذكر أن مقدار المفاعلتين يتغير مع التردد، والرسم التالي يوضح لنا كيف تتغير المفاعلة السعوية X_C والمفاعلة الحثية X_L مع التردد:



شكل (5- 9) تغير قيمة المفاعلة الحثية والسعوية مع التردد

حيث أن:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f.C} \quad (5-4)$$

$$X_L = 2\pi f.L \quad (5-5)$$

وبالتالي عندما نزيد في التردد فإن المفاعلة السعوية تنخفض والمفاعلة الحثية تزيد، كما يلي:

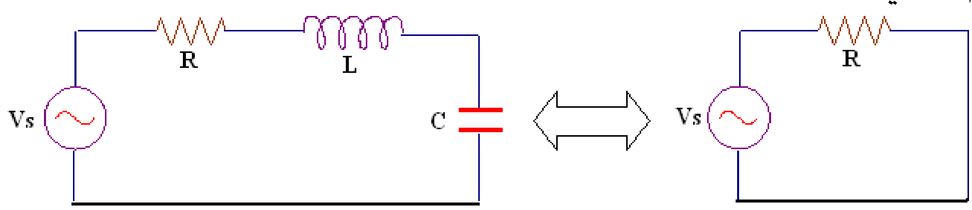
$$\uparrow X_L, \downarrow X_C \Leftarrow \uparrow f$$

ويقع التوازن عندما يكون $X_C = X_L$ ، وفي هذه الحالة تتوازن المفاعلة الحثية مع المفاعلة السعوية وبالتالي تلغي كل واحدة منهما الأخرى فيكون الجهد عبر المكثف والمحث معا يساوي صفرا. هذه الحالة تسمى رنين التوالي. وبالتالي فإن المعاوقة الكلية تساوي المقاومة، كما يلي:

$$X_L = X_C \Rightarrow V_L = V_C \quad (5-6)$$

$$Z_r = R \quad (5-7)$$

كما بالرسم التالي:



شكل (5- 10) الدائرة المكافئة لدائرة على التوالي عند الرنين

5- 2- 7 تردد رنين التوالي Series Resonant Frequency F_r

عند تردد الرنين، تكون:

$$X_L = X_C \quad (5-8)$$

$$\Rightarrow 2\pi.F_r.L = \frac{1}{2\pi.F_r.C} \quad (5-9)$$

$$\Rightarrow F_r^{\ 2} = \frac{1}{(2\pi)^2.L.C} \quad (5-10)$$

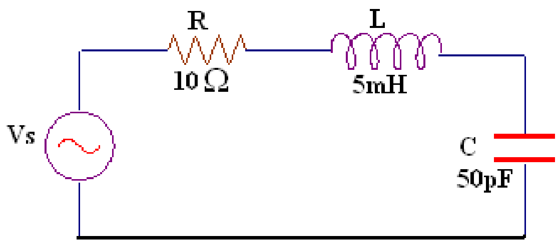
$$\Rightarrow F_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L.C}} \quad (5-11)$$

إذن يمكن حساب تردد الرنين باستخدام العلاقة التالية:

$$F_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L.C}} \quad (5-12)$$

مثال (5- 3)

أوجد تردد رنين التوالي لهذه الدائرة:

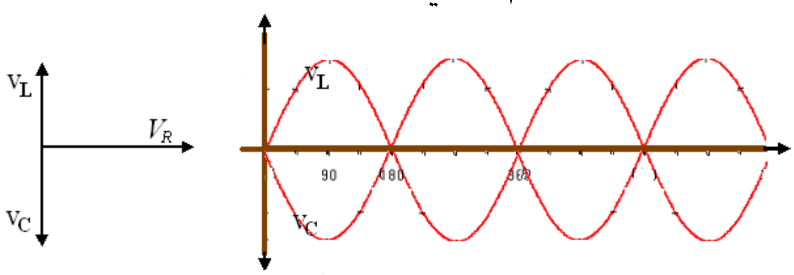


شكل (5- 11) الدائرة الكهربائية لمثال (5- 3)

الحل:

$$F_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 318kHz$$

باعتبار أنه عند تردد الرنين، تكون $X_C = X_L$ وباعتبار أن التيار الذي يعبر المكثف والمحث واحد فإذا الجهد عبر المحث والجهد عبر المكثف متساويان من حيث القيمة المطلقة ولكن بينهما طور مقداره 180^0، كما بالرسم التالي:

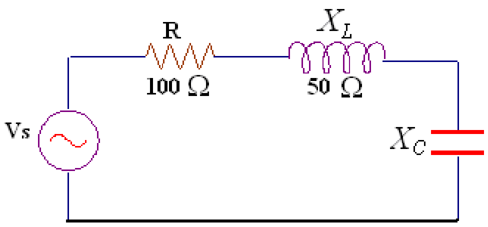


شكل (5- 12) الجهد على الملف والمكثف

حيث أن فارق الجهد عبر المكثف والمحث معا يساوي صفرا. والمفاعلة الإجمالية X_T تساوي صفرا وقيمة المعاوقة تساوي قيمة المقاومة.

مثال (5- 4):

أوجد قيمة Z, X_C عند تردد الرنين:



شكل (5- 13) الدائرة الكهربائية لمثال (5- 4)

الحل:

عند الرنين $X_C = X_L = 50\Omega$

والمعاوقة $Z = R = 100\Omega$

5- 2- 8 تغير الجهد والتيار والمعاوقة مع التردد

Voltage, Current and Impedance Variation with Frequency

أولا: قبل تردد الرنين $F_r > F$:

عند التردد $F = 0Hz$ ، يظهر المكثف كأنه دائرة مفتوحة مانعا بذلك التيارمن المرور (مكثف في DC) أي إن المعاوقة بالتالي لانهائية وجهدي المقاومة والمحث يساويان صفرا. فعندما يزيد التردد تنقص قيمة مفاعلة المكثف وتزيد قيمة مفاعلة المحث وبالتالي ينقص الفارق بينهما $X_C - X_L$ ، ممماينتج عنه انخفاض المعاوقة الإجمالية وزيادة التيار الكهربائي وهذا يقتضي زيادة في جهد المقاومة وجهد المكثف وجهد المحث. من ناحية أخرى الجهد عبر كل من المكثف والمحث معا يتناقص، كما يلي:

$$F \uparrow \Rightarrow X_C \downarrow \Rightarrow X_L \uparrow \Rightarrow (X_C - X_L) \downarrow \Rightarrow Z \downarrow \Rightarrow I \uparrow$$

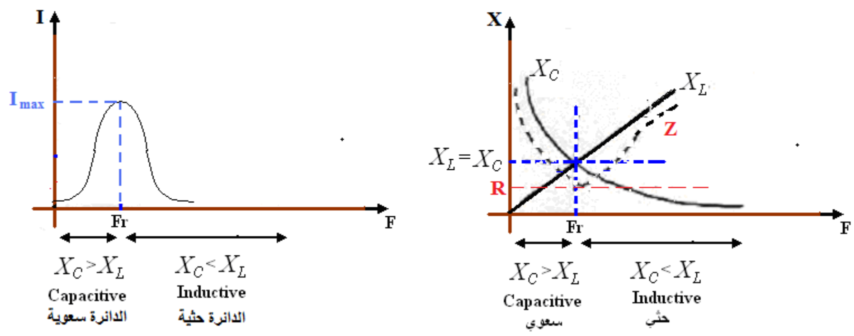
وبالتالي:

$$\Rightarrow V_R \uparrow \Rightarrow V_L \uparrow \Rightarrow V_C \uparrow$$

وأيضا:

$$\Rightarrow |V_L - V_C| \downarrow$$

كما في الشكل التالي:



شكل (5- 14) تغير الجهد والتيار والمعاوقة مع التردد

ثانيا: عند تردد الرنين $F = F_r$

المفاعلة الحثية تساوي المفاعلة السعوية $X_L = X_C$ ، وبالتالي فإن جهد المحث يساوي جهد المكثف لأن التيار واحد $V_C = V_L$ ، وفارق الجهد عليهما جميعا يساوي صفرا (أي عبر المكثف والمحث معا). أي إن المعاوقة تساوي المقاومة وبالتالي التيار يكون عند أقصى مقدار له وجهد المقاومة يساوي جهد المصدر، كما يلي:

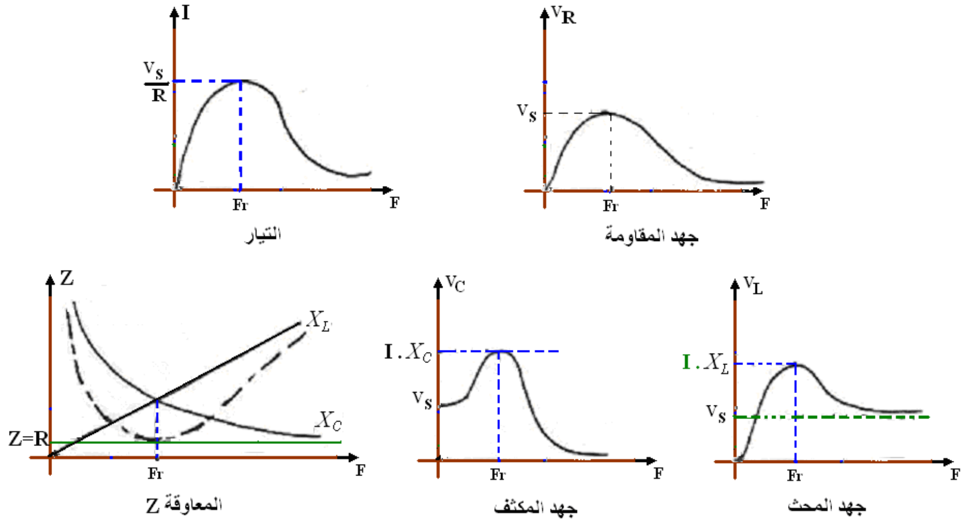
$$F = F_r \Rightarrow X_L = X_C \Rightarrow V_C = V_L \Rightarrow V_{CL} = 0$$

وبالتالي:

$$\Rightarrow Z = R \Rightarrow I = \frac{V_S}{R} \Rightarrow V_S = V_R$$

ثالثا: بعد تردد الرنين $F > F_r$:

إذا ارتفع التردد فوق تردد الرنين واصلت قيمة المفاعلة الحثية في الازدياد والمفاعلة السعوية في الانخفاض، أما الفارق بينهما فيزيد وكذلك المعاوقة مما يؤدي إلى انخفاض شدة التيار. وهذا يسبب انخفاض جهد المقاومة والمكثف والمحث، أما جهد المكثف والمحث معا فيزيد. ومن ثم فإنه عندما يكون التردد مرتفعا جدا يصبح التيار ضعيفا وكذلك جهد المقاومة V_R وجهد المكثف V_C أما جهد المحث فيقترب من جهد المصدر V_S ، انظر الأشكال التالية:



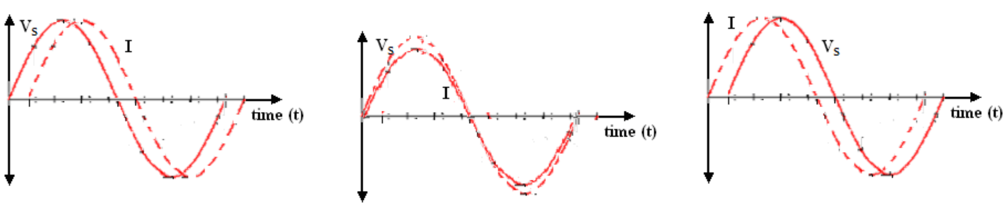
شكل (5- 15) تأثير التردد على الجهد والتيار والمقاومة في دوائر التوالي

5- 2- 9 تغير زاوية الطور مع التردد Phase Angle Variation with Frequency

عندما يكون التردد أصغر من تردد الرنين تكون المفاعلة السعوية أكبر من المفاعلة الحثية، كما يلي:

$$F_r > F \Rightarrow X_C > X_L \quad (5-\ 13)$$

وبالتالي فإن التيار يتقدم على جهد المصدر وزاوية الطور تنقص، وذلك كلما اقترب التردد من تردد الرنين $F = F_r$، كما في شكل (5- 16- أ). لكن عند تردد الرنين يصبح التيار وجهد المصدر لهما نفس زاوية الطور لأن الدائرة أصبحت عبارة عن مقاومة فقط، وبالتالي فإن زاوية الطور $\theta = 0^0$، أنظر شكل (5- 16- ب). أما إذا أصبح التردد أكبر من تردد الرنين أي كانت المفاعلة السعوية أكبر من المفاعلة الحثية، ففي هذه الحالة يتأخر التيار عن جهد المصدر، كما في شكل (5- 16- ج):



F < Fr (ج) F = Fr (ب) F > Fr (أ)

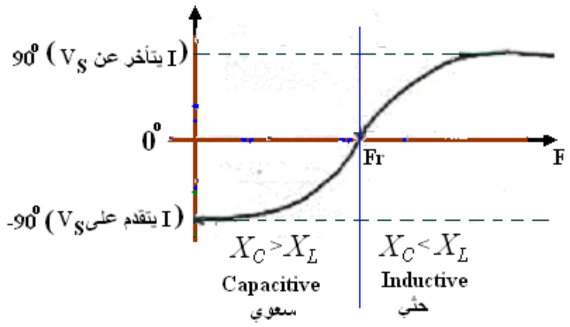
شكل (5- 16) تأثير التردد على زاوية الطور

أي أن:

$$X_T = \frac{X_L . X_C}{|X_L - X_C|} \quad (5-\ 14)$$

ملحوظة:

عندما تكون $X_L = X_C$ ⇐ المفاعلة الإجمالية لانهائية، أي إن $X_T = \infty$ ، كما بالشكل التالي:

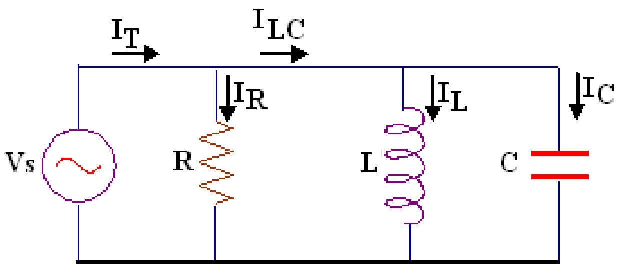


شكل (5- 17) تغير زاوية الطور مع التردد

5- 3 دوائر المقاومة والملف والمكثف على التوازي RLC Parallel RLC Circuit

5- 3- 1 خواص دوائر المقاومة والملف والمكثف على التوازي RLC Circuits Characteristics

في دوائر المقاومة والملف والمكثف على التوازي، توصل العناصر الثلاثة كما بالشكل التالي:



شكل (5- 18) دائرة RLC على التوازي

حيث أن:

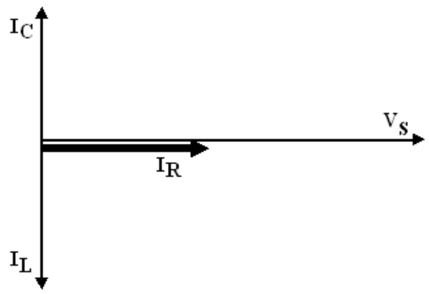
$$V_R = V_C = V_L = V_S$$

وتكون زاوية الطور بين التيار المار في هذه العناصر والجهد المطبق عليها كما يلي:

فبالنسبة للمقاومة: V_R, I_R متطابقان في زاوية الطور.

والملف (المحث): I_L يتأخر عن V_L بزاوية طور مقدارها 90^o.

أما المكثف: I_C يتقدم على V_C بزاوية طور مقدارها 90^o.



شكل (5- 19) زاوية الطور بين التيارات المارة في الدائرة وجهد المصدر

ومن الشكل، يتضح أن فارق الطور بين تيار المكثف و تيار المحث 180^0 ، وأيضا:

$$I_{LC} = \left| I_L - I_C \right| \qquad (5\text{- }15)$$

5- 3- 2 المفاعلة الإجمالية Total Reactance

المفاعلة الإجمالية تساوي القيمة المطلقة للفارق بين قيمة المفاعلة السعوية والمفاعلة الحثية، كما يلي:

$$\frac{1}{X_T} = \left| \frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C} \right| \Rightarrow X_T = \frac{X_L . X_C}{\left| X_L - X_C \right|} \qquad (5\text{- }16)$$

5- 3- 3 المعاوقة الإجمالية Total Impedance

يمكن إيجاد قيمة المعاوقة الإجمالية بالنسبة لدائرة RLC على التوازي، باستخدام العلاقة التالية:

$$Z_T = \frac{R.X_T}{\sqrt{R^2 + X_T{}^2}} \qquad (5\text{- }17)$$

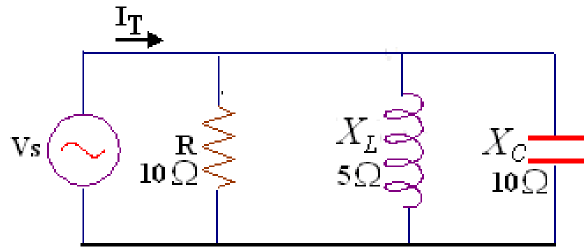
5- 3- 4 زاوية الطور Phase Angle

يمكن إيجاد قيمة زاوية الطور θ ، كما يلي:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{R}{X_T}\right) \qquad (5\text{- }18)$$

مثال (5- 5):

أوجد قيمة المعاوقة الإجمالية وزاوية الطور، وذلك للدائرة التالية:



شكل (5- 20) الدائرة الكهربائية لمثال (5- 5)

الحل:

$$X_T = \frac{X_L . X_C}{|X_L - X_C|} = \frac{5*10}{5} = 10\Omega$$

$$Z_T = \frac{R.X_T}{\sqrt{R^2 + X_T^2}} = \frac{10*10}{\sqrt{10^2 + 10^2}} = 7.07\Omega$$

أما زاوية الطور، فتساوي:

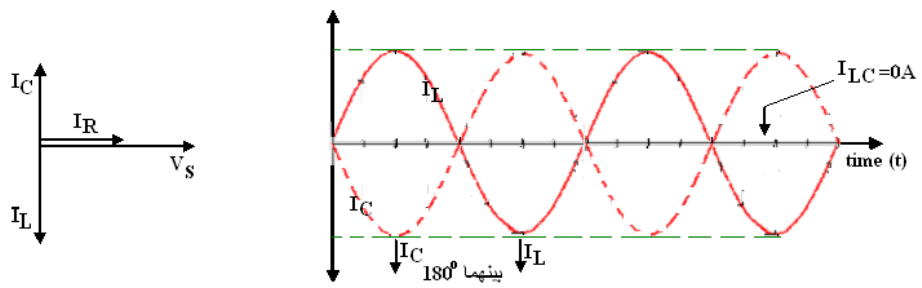
$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{R}{X_T}\right) = 45^o$$

5- 3- 5 رنين التوازي Parallel Resonance

يحصل رنين التوازي، عندما تكون المفاعلة السعوية والمفاعلة الحثية متساويتين، كما يلي:

$$X_L = X_C$$

في هذه الحالة ونظرا لأن جهد المحث مساو لجهد المكثف فإن التيار الذي يعبر المكثف والتيار الذي يعبر المحث متساويان من حيث القيمة المطلقة ولكن لهما دائما اتجاهان متعاكسان أي إن فارق الطور بينهما هو 180^0، وبالتالي فإن التيارين يختزلان، أي إن التيار الذي يذهب إلى المكثف والمحث معا يساوي صفرا $I_{LC} = 0A$. انظر الشكل التالي:



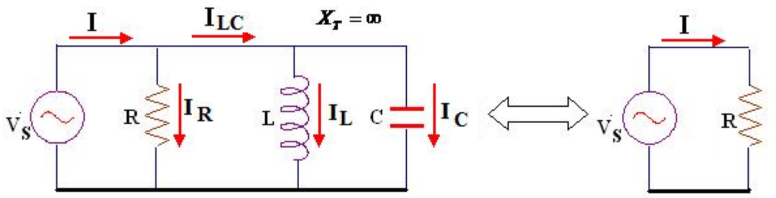
شكل (5- 21) التيار المار في الملف والمكثف

إذن كل التيار المسحوب من المصدر يمر عبر المقاومة. ومن جهة أخرى، وباعتبار إنه ليس هناك تيار يعبر المكثف والمحث معا $I_{LC} = 0$ فإن الجزء المكون من المكثف والمحث يظهر وكأنه

دائرة مفتوحة Open Circuits أي إن معاوقته لانهائية، وبالتالي فإنه في حالة رنين التوازي المفاعلة الإجمالية تكون لانهائية. وهذا يظهر من خلال صيغة المفاعلة الإجمالية، والتي تنص على أن:

$$X_T = \frac{X_L X_C}{|X_L - X_C|} \qquad (19\ \ -5)$$

وعندما تكون $X_L = X_C$ أي في حالة الرنين $X_T = \infty$ ، وبالتالي، تكون المعاوقة الإجمالية مساوية لقيمة المقاومة، كما يلي:



شكل (5- 22) الدائرة المكافئة لدائرة على التوازي عند الرنين

ومن ثم تكون قيمة زاوية الطور بين التيار I والجهد V_S تساوي صفراً، $\theta = 0^o$.

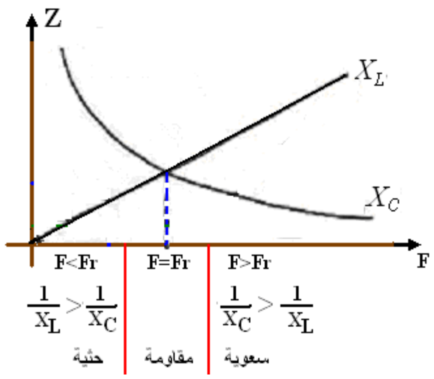
5- 3- 6 تردد رنين التوازي The Parallel Resonant Frequency

يحصل رنين التوازي عند التردد f_r ، والذي يمكن إيجاده باستخدام العلاقة:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \qquad (20\ \ -5)$$

حيث ينبغي هنا توضيح الحالات التالية:

1. التردد أقل من تردد الرنين: $f < f_r$ وبالتالي: $\frac{1}{X_L} < \frac{1}{X_C} \Leftarrow$ الدائرة حثية.
2. التردد يساوي تردد الرنين: $f = f_r$ وبالتالي: $\frac{1}{X_L} = \frac{1}{X_C} \Leftarrow$ الدائرة عبارة عن مقاومة.
3. التردد أكبر من تردد الرنين: $f > f_r$ وبالتالي $\frac{1}{X_C} < \frac{1}{X_L} \Leftarrow$ الدائرة سعوية.



شكل (5- 23) تأثير تغيير التردد على دائرة RLC توازي

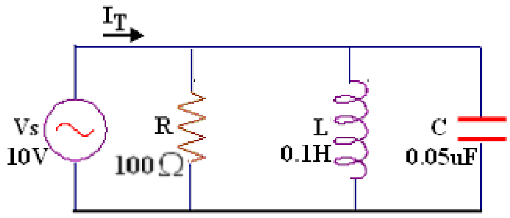
حيث إن:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f.C} \qquad (5-21)$$

$$X_L = 2\pi f.L \qquad (5-22)$$

مثال (5- 6):

في الدائرة التالية:



شكل (5- 24) الدائرة الكهربائية لمثال (5- 6)

أوجد تردد الرنين، والمعاوقة، والتيار الإجمالي وذلك في حالة الرنين.

الحل:

لإيجاد قيمة تردد الرنين، نستخدم العلاقة التالية:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 2.25kHz$$

المفاعلة الإجمالية

$$X_T = \infty$$

المعاوقة

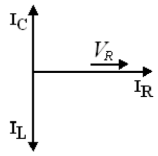
$$Z = R = 100\Omega$$

التيار الإجمالي

$$I_T = \frac{V_S}{R} = 0.1A$$

الخلاصة Summary

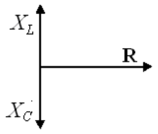
1. في دوائر المقاومة والملف والمكثف على التوالي، تكون زاوية الطور بين التيار المار في هذه العناصر والجهد المطبق عليها كما يلي:



شكل (١٥-٢) زاوية الطور بين الجهود والتيار المار في الدائرة

2. المفاعلة الإجمالية تساوي القيمة المطلقة للفارق بين قيمة المفاعلة السعوية والمفاعلة الحثية، أي إن:

$$X_T = \left| X_L - X_C \right|$$



شكل (١٥-٣) المفاعلة الإجمالية

3. إذا كانت قيمة كل من:

$X_L > X_C \Leftarrow$ الدائرة حثية أكثر منها سعوية

$X_C > X_L \Leftarrow$ الدائرة سعوية أكثر منها حثية

$X_C = X_L$ المعاوقتان السعوية والحثية يلغي أحدهما الآخر

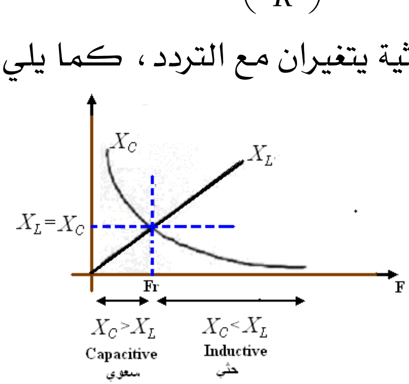
4. يمكن إيجاد المعاوقة الكلية باستخدام العلاقة التالية:

$$Z_T = \sqrt{R^2 + X_T^2} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

5. زاوية الطور θ أو فارق الطور بين جهد المصدر والتيار المسحوب من المصدر تساوي:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{X_T}{R}\right)$$

6. مقدار المفاعلتين السعوية والحثية يتغيران مع التردد، كما يلي:



شكل (١٥-٩) تغير قيمة المفاعلة الحثية والسعوية مع التردد

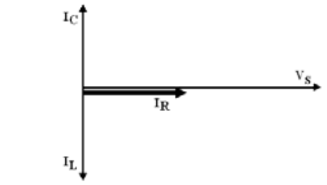
7. يمكن حساب تردد الرنين باستخدام العلاقة التالية:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

8. عند تردد الرنين يصبح التيار وجهد المصدر متطاورين لأن الدائرة أصبحت فقط عبارة عن مقاومة، وبالتالي فإن زاوية الطور $\theta = 0^0$.

9. في دوائر المقاومة والملف والمكثف على التوازي، $V_R = V_C = V_L = V_S$

10. زاوية الطور بين التيار المار في هذه العناصر والجهد المطبق عليها كما يلي:



شكل (١٥-١٩) زاوية الطور بين التيارات المارة في الدائرة وجهد المصدر

11. المفاعلة الإجمالية تساوي

$$\frac{1}{X_T} = \left|\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right| \Rightarrow X_T = \frac{X_L . X_C}{|X_L - X_C|}$$

12. يمكن إيجاد قيمة المعاوقة الإجمالية بالنسبة لدائرة RLC على التوازي، باستخدام العلاقة التالية:

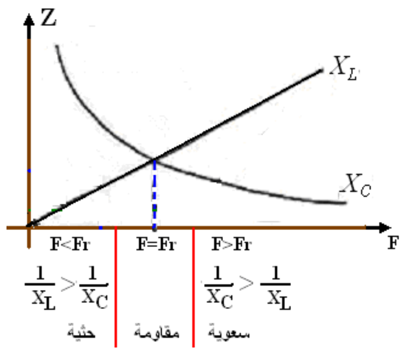
$$Z_T = \frac{R.X_T}{\sqrt{R^2 + X_T{}^2}}$$

13. يمكن إيجاد قيمة زاوية الطور θ، كما يلي:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{R}{X_T}\right)$$

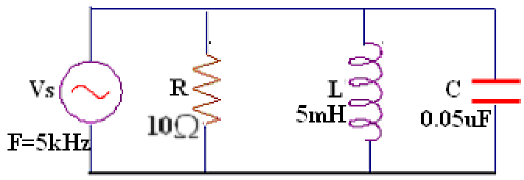
14. يحصل رنين التوازي عند التردد f_r، والذي يمكن إيجاده باستخدام العلاقة:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

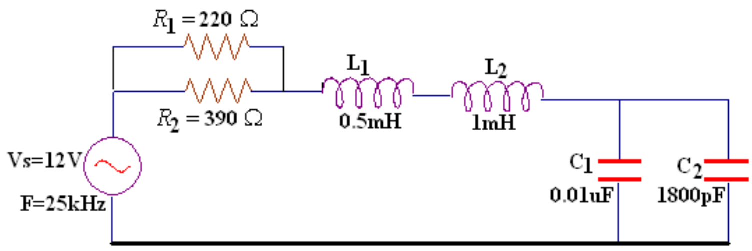


تدريبات على الوحدة الخامسة

1. أوجد المعاوقة وزاوية الطور و أوجد المفاعلة الإجمالية.



2. في الدائرة التالية:



أ. أوجد التيار الإجمالي I_T

ب. أوجد القدرة الحقيقية P_{true} $\left(P_{true} = I_{rms}{}^{2} * R\right)$

ت. أوجد القدرة المفاعلة P_r $\left(P_r = I_{rms}{}^{2} * X_T\right)$

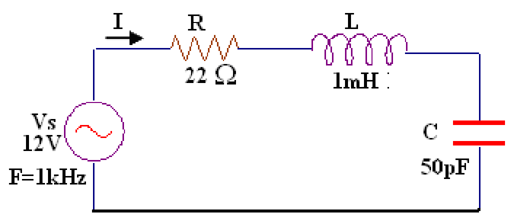
ث. اوجد القدرة الظاهرية P_a $\left(P_a = V_{S_{rms}} . I_{rms}\right)$

ج. أوجد التيار الذي يعبر R_1 والتيار الذي يعبر R_2

ح. أوجد الجهد عبر المقاومات R_1 و R_2 والجهد عبر المحث L_1 والجهد عبر المحث L_2 والجهد عبر المكثفين C_2, C_1

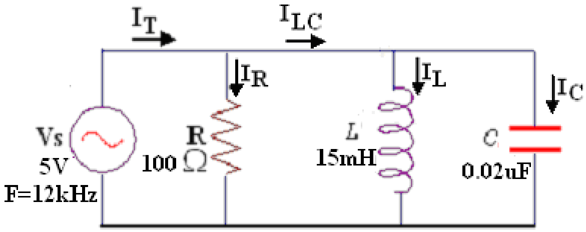
خ. أوجد زاوية الطور θ (ابحث أولا عن المفاعلة الإجمالية)

3. في الدائرة التالية:



- أوجد تردد الرنين.
- أوجد Z, X_C, X_L والتيار I في حالة رنين التوالي.

4. في الدائرة التالية:



أ. أوجد المعاوقة الإجمالية Z_T .

ب. هل هذه الدائرة سعوية أم حثية ؟ لماذا؟

أوجد التيار عبر كل فرع I_C, I_L, I_R وكذلك التيار الذي يعبر المحث والمكثف معا I_{LC}.

المراجع (References)

أولاً : المراجع العربية

1. مذكرة الدوائر الكهربائية بقسم تقنية الاتصالات، إعداد د. سامي قديم
2. مذكرة هندسة كهربائية بقسم التقنية الإلكترونية ، إعداد د. هاني عبده، د. فوزي الرفاعي، م. حسن بخاري.

ثانياً : المراجع الأجنبية

[1] Thomas L. Floyed, Electrical Engineering Fundamentals, Prentice, Inc, sixth edition, 2000.
[2] B. L. Theraja, A. K. Theraja, " Electrical Technology", published by Ninja Construction development Co. Ltd. Ram Nagar, New Delhi, 110055, 1995.
[3] M. A. PAI, "Introduction to Electric Circuits and Machines", Affiliated east west presses private limited, 1975.
[4]

المحتويات